H. GROSSMANN

TUBI A SCARICA NEL GAS E FOTOCELLULE NELLA TECNICA RADIO

EDITRICE IL ROSTRO MILANO

TUBI A GAS E FOTOCELLULE

2011

H. GROSSMANN

TUBI A SCARICA NEL GAS E FOTOCELLULE

NELLA TECNICA RADIO

EDITRICE IL RÒSTRO MILANO

1958

Titolo originale dell' opera
GLIMMRöHRE UND FOTOZELLE IN HAND DES FUNKTECHNIKERS

ALBRECHT PHILLER - VERLAG, MINDEN (WESTF)

Traduzione di **Gustavo Kuhn**

Tutti i diritti riservati alla Editrice il Rostro

Tipografia Edizioni Tecniche - Via Baldo degli Ubaldi, 6 - Milano

PREFAZIONE

Il presente manuale appare quale rifacimento della quarta edizione della precedente pubblicazione: « I tubi a scarica nel gas nella tecnica dilettantistica ».

Il contenuto è stato largamente ampliato, e si sono riportate numerose applicazioni nel campo radiotecnico. Sono inoltre rappresentati dei circuiti con impiego di cellule fotoelettriche.

Tubi a scarica nel gas e cellule fotoelettriche si prestano a sempre più svariati usi, ed è interessante per il radiotecnico conoscere i circuiti base di tali elementi.

Scopo di questo libro è di fornire le nozioni fondamentali sulla materia, e cercare di farne una divisione sistematica. Si spera con questo di facilitare un successivo studio più approfondito del soggetto.

Hans Grossmann

INDICE

PARTE I - TUBI A SCARICA NEL GAS

Introduzione: Il fenomeno della luminescenza 1

Applicazioni

1) Illuminazione 7
2) Segnalazione 9
3) Controllo di continuità e di isolamento 12
4) Controllo e misura di tensioni 15
5) Indicatori di alta tensione ed alta frequenza .. 19
6) Controllo della modulazione in amplificatori di alta e bassa frequenza 23
7) Tubi a scarica per operazioni di taratura e di misura 29
8) Applicazioni oscillografiche 33
9) Circuiti con relè 35
10) Oscillatori a rilassamento 40
11) Stabilizzatori e divisori di tensione 52
12) Circuiti di protezione contro sovratensioni 69
13) Riduttori di tensione 71
14) Raddrizzatori a gas a catodo freddo 73

PARTE II - CELLULE FOTOELETTRICHE

Introduzione: Cellule foto-emissive, foto-resistenti e foto-voltaiche 77

Applicazioni:

1) Relè fotoelettrici 83
2) Preamplificatori per cine sonoro 90

Tabelle 93

PARTE I

TUBI A SCARICA NEL GAS

Il fenomeno della scarica trattato dal punto di vista fisico e tecnico

La natura della scarica luminescente

Le varie applicazioni dei tubi a luminescenza nella radiotecnica derivano dell'utilizzazione di alcune proprietà ottiche ed elettriche della scarica nei gas.

È quindi bene, per una migliore comprensione delle applicazioni che verranno più avanti elencate, esaminare un po' il fenomeno sotto un punto di vista fisico.

Praticamente tutti i tubi a luminescenza sono costruiti da due o più elettrodi racchiusi in uno spazio in cui sia stato fatto il vuoto e successivamente si sia introdotta una certa quantità di gas raro. La scarica avviene, o è provocata, fra questi elettrodi. La posizione di questi, la loro forma ed estensione, dipendono dalle caratteristiche che si vogliono ottenere.

Il riempimento gassoso è quasi sempre costituito da Neon, Argon o Xenon, ovvero da un miscuglio di questi gas. Essendo questi gas in sè buoni isolatori, è interessante studiare per quale ragione essi possono diventare tutto ad un tratto dei conduttori. Per far questo è necessario vedere più da vicino qual'è la struttura atomica dei gas stessi.

Il riempimento gassoso è costituito da molecole, ovvero da atomi, che, al contrario di ciò che avviene nei corpi solidi, sono liberi di muoversi. La velocità di queste particelle è abbastanza elevata, dell'ordine di 1,5 km/secondo.

Ogni atomo può essere ritenuto costituito, in prima approssimazione, di un nucleo caricato positivamente, e da un certo numero di elettroni, che sono cariche negative, ruotanti attorno ad esso su orbite ben definite, come pianeti attorno al Sole. Il nucleo atomico possiede, in funzione del suo peso atomico, un certo numero di cariche positive. Nell'atomo elettricamente neutro esiste un ugual numero di elettroni, che bilancia queste cariche. Il mantello di elettroni, al contrario di quanto avviene per il nucleo, è già influenzabile con energie relativamente modeste. È possibile cioè, sia per fenomeni naturali che per cause artificiali, allontanare uno o più elettroni dalla loro orbita normale.

In questo caso l'atomo non è più elettricamente neutro perchè esiste in esso una preponderanza di cariche positive. Si parla ora di un atomo ionizzato, o più brevemente, di un Ione. Come causa naturale di ionizzazione si può citare ad esempio l'irradiazione cosmica; artificialmente la ionizzazione può esser prodotta da un campo elettrico.

La fig. 1 mostra la caratteristica di un tubo a scarica con catodo freddo. Essa può venire interpretata come segue.

Per irradiazione naturale esistono nello spazio gassoso degli atomi spontaneamente ionizzati.

Dal momento in cui si applica una certa tensione fra gli elettrodi, il campo che viene a prodursi provoca lo spostamento degli elettroni liberi verso l'anodo e degli ioni verso il catodo. Queste particelle vengono pertanto accelerate, e, durante il loro spostamento, urtano degli atomi neutri (fenomeno di Townsend). Fino a che la velocità degli elettroni che per la loro piccola massa, sono centinaia di volte più veloci degli ioni, resta al di sotto di un certo valore, questi urti sono perfettamente elastici.

Se però si aumenta il campo elettrico, aumenta anche la velocità degli elettroni, ed a un certo momento avviene che gli elettroni, urtando un atomo, provocano l'emissione

di un elettrone appartenente ad esso. Gli elettroni liberati, accelerati a loro volta dal campo, provocano la ionizzazione di altri atomi.

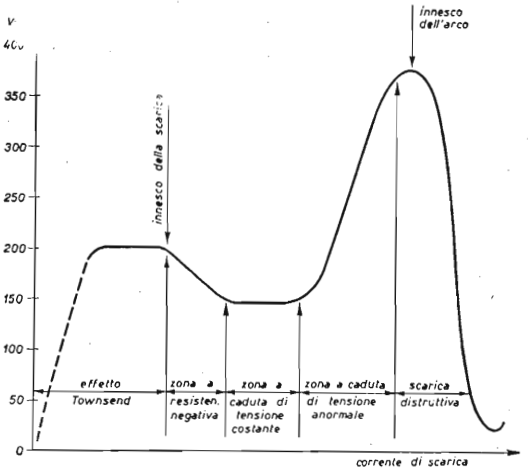

Fig. 1 - Caratteristica di un tubo a scarico nel gas, con catodo freddo.

Contemporaneamente però gli ioni si muovono verso il catodo, entrando in collisione a loro volta con degli elettroni. Questi ioni hanno la tendenza a ridiventare elettricamente neutri, e riusciranno perciò a catturare gli elettroni più lenti, formando degli atomi.

Se per caso venisse liberato dal catodo a causa degli ioni incidenti un elettrone in più di quanto detti ioni ne necessitino per la loro ricostituzione in atomi, il fenomeno di scarica viene facilitato da questo elettrone in soprannumero.

L'inizio del fenomeno di scarica dipende dalla forza del campo elettrico per cui il potenziale degli elettrodi che lo determinano viene denominato « potenziale di ionizzazione ». Le correnti, appena misurabili, che si generano al disotto di detto potenziale e che non causano alcuna luminescenza vengono denominate come scarica di Townsend. Al raggiungimento del potenziale di ionizzazione ,ossia nel campo di scarica (fig. 1), comincia a rivelarsi la luminescenza. Pertanto si verifica la seguente ripartizione di potenziale nello spazio di scarica:

Mentre prima dell'innesco della scarica luminescente vi regna una caduta lineare di tensione, si verifica dopo l'accensione della scarica (e per correnti crescenti) una forte caduta di tensione davanti al catodo, denominata caduta di tensione catodica e dovuta allo ammassarsi degli ioni in tale zona. La caduta di tensione catodica dipende dalla qualità del gas e dalla materia che costituisce il catodo; è indipendente dalla tensione totale, forma degli elettrodi e loro distanza, pressione del gas ecc. Al contrario la differenza di tensione tra la nuvola ionica e l'anodo è così lieve che in questo spazio non è possibile alcun processo di ionizzazione.

Bisogna distinguere tra caduta catodica normale ed anormale (fig. 1). Nel primo caso si possono avere differenti valori della corrente senza che la tensione varii in modo apprezzabile. Per bassa corrente appare sul catodo una macchiolina che, al crescere della corrente, si espande fino a riempire tutta l'ampolla. Il campo di variazione della caduta di tensione normale può pertanto essere impiegato per ottenere la stabilizzazione di una tensione soggetta a variazioni.

Aumentando vieppiù la corrente, si entra nel campo della caduta anormale in cui comincia a verificarsi il riscaldamento del catodo a causa dell'intenso bombardamento ionico. La scarica luminescente degenera in arco elettrico. Per

impedire l'innesco dell'arco, e quindi la distruzione della lampada, si pone in serie alla lampada stessa una resistenza che limiti il passaggio della corrente massima.

Zone luminescenti ed applicazioni pratiche

La luce visibile durante la scarica luminosa proviene dalle radiazioni che si liberano durante i processi di ionizzazione e di deionizzazione del gas. Come riportato in fig. 2 si distinguono nell'ampolla la luminescenza positiva e la luminescenza negativa inframezzate dal cosidetto spazio oscuro di Faraday.

Durante il bombardamento ionico del catodo si liberano alcuni elettroni che, attirati dall'anodo acquistano via via velocità crescente. Finchè questi elettroni non avranno la velocità corrispondente al potenziale di ionizzazione, non potranno ionizzare gli atomi del gas. Pertanto nella vicinanza del catodo si avrà uno spazio oscuro, come è indicato nella fig. 2. Esso viene distinto in un primo strato a debole

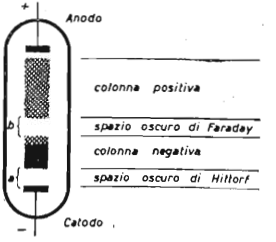

Fig. 2 - Luminescenza della scarica non distruttiva.

bagliore, detto spazio oscuro di Asthon, seguito dallo spazio oscuro di Hittorf. Dopo il passaggio delle zone oscure (tratto *a* della fig. 2) gli elettroni hanno raggiunto la velocità di

ionizzazione per cui si genera la zona di luminescenza negativa già accennata. Nell'attraversare questa zona gli elettroni perdono velocità ed ad un certo punto non possono più ionizzare gli atomi del gas. Si genera così lo spazio oscuro di Faraday. Attraversandolo senza provocare ionizzazione, di nuovo gli elettroni acquistano velocità e possono ricominciare a ionizzare il gas, dando origine alla zona di luminescenza positiva. Questa si verifica peraltro quando la distanza tra gli elettrodi è considerevole e trova applicazione nei lunghi tubi luminescenti, e per scritte luminose al neon. Nei tubi di uso tecnico trova applicazione esclusivamente la zona di luminescenza negativa, mentre quella positiva non compare a causa delle dimensioni limitate dei tubi stessi.

Tensione di innesco, di scarica e di disinnesco

Per l'inizio della scarica in un tubo a gas è necessaria una tensione un po' maggiore della somma delle varie cadute di tensione (caduta di tensione catodica + caduta di tensione fra nuvola ionica ed anodo) che si hanno a scarica avvenuta. Il valore di questa tensione è denominata tensione di innesco del tubo. Questa può essere molto diversa da tubo a tubo, e dipende essenzialmente dal tipo del gas usato per il riempimento, dalla sua pressione e dalla forma e dal materiale usato per il catodo. La tensione di innesco diminuisce fortemente nel caso che la tensione applicata sia di frequenza abbastanza elevata: ciò è dovuto al fatto che la ionizzazione è favorita dal campo elettromagnetico.

Una volta che la scarica è iniziata, la caduta di tensione ai capi della lampada si stabilizza ad un valore più basso, denominato tensione di scarica, e che vale esattamente la somma delle varie cadute di tensione viste più sopra.

La resistenza limitatrice si incarica di prendere la differenza fra la tensione applicata e la tensione di scarica. Entro un certo campo di variazione della tensione applicata, la tensione di scarica, come abbiamo visto dal diagramma di fig. 1, si mantiene costante.

Se diminuiamo ora progressivamente la tensione di alimentazione, si arriva ad un certo punto in cui la scarica luminosa cessa bruscamente. Il valore di tensione corrispondente a questo fenomeno prende il nome di tensione di disinnesco.

Se si vuole riottenere la scarica qualora si sia scesi con la tensione sotto al limite del disinnesco, occorre applicare ancora la piena tensione di innesco.

Impedenza di un tubo a gas.

Il carico rappresentato da un tubo a gas dipende essenzialmente dalla forma e dalle dimensioni del catodo: quanto più questo è sviluppato, tanto più grande è la corrente assorbita, e più bassa la resistenza interna del tubo:

$$R_i = \frac{U}{I} \qquad \begin{array}{l} U = \text{tensione ai capi del tubo} \\ I = \text{corrente assorbita} \end{array}$$

Questa resistenza non è pertanto da confondere con la resistenza differenziale del tubo:

$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

che assume, nel campo di scarica normale, valori estremamente bassi.

1 - Tubi a gas e relativi schemi d'impiego. Illuminazione

Tubi a gas di tipo particolare vengono sovente impiegati in locali scuri o in penombra per illuminazione di soccorso ovvero per indicazioni varie. Ben conosciuta per queste

applicazioni è la lampada Osram riprodotta in fig. 3. Il consumo di tale tipo di lampada è molto ridotto, dell'ordine di 3 W quando sia connessa ad una rete a 220 V, e di 1,5W quando sia connessa ad una rete a 110 V. Il basso consumo e lunga durata di funzionamento fanno di questa lampada un utile accessorio nei casi in cui sia richiesta una grande sicurezza di funzionamento.

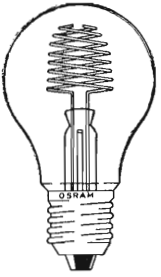

Fig. 3 - Tubo a gas per illuminazione.

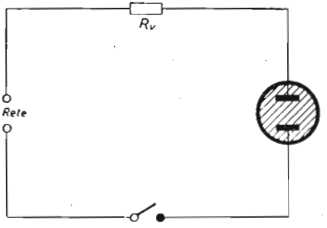

Fig. 4 - Schema di impiego di un tubo a gas per illuminazione. (Rv = resistenza limitatrice di corrente).

Il riempimento è costituito da gas neon, e pertanto la luce emessa, che ammonta a circa 0,8 lumen, possiede la caratteristica colorazione arancione.

É da prevedersi una resistenza in serie limitatrice di corrente, come è indicato in fig. 4. Il valore di questa resistenza che in certi casi è già montata nello zoccolo della lampada, si calcola secondo la formula:

$$R_v = \frac{U_a - U_s}{I}$$

R_v = resistenza limitatrice (Ω)
U_a = tensione di alimentazione (V)
U_s = tensione di scarica (V)
I = corrente media (A)

La resistenza R assorbe pertanto la differenza di tensione fra la tensione della rete e la tensione di arco sotto l'assorbimento normale di corrente.

Nelle edizioni speciali per reti a 110 V, la lampada ha una tensione di arco aggirantesi sui 70 - 95 V.

Questo valore così basso è ottenuto con una rivestitura con sali di bario degli elettrodi.

Caratteristiche delle lampade sopracitate si trovano nelle tabelle riportate in appendice di questo volume.

2 - Segnalazione

Largo impiego in tutti i campi in cui occorra una segnalazione luminosa hanno trovato le lampade a gas. La fig. 5

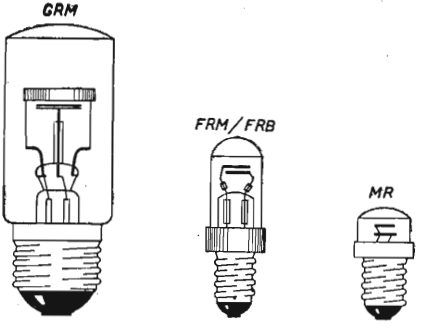

Fig. 5 - Lampade di segnalazione.

riporta in scala alcuni tipi di lampade indicatrici. In generale queste lampadine possono funzionare ugualmente bene in corrente continua ed in corrente alternata.

La lampadina più piccola, il tipo MR costruita dalla Società DGL, richiede una corrente di circa 0,25 mA. Queste lampadine non possiedono in generale la resistenza limitatrice incorporata. Occorre quindi prevedere una resistenza esterna di valore adeguato. Le particolarità costruttive sono molto varie a seconda della marca: si possono trovare lampadine con attacco a vite, a baionetta, o semplicemente con fili uscenti dal bulbo e che vanno saldati direttamente in circuito.

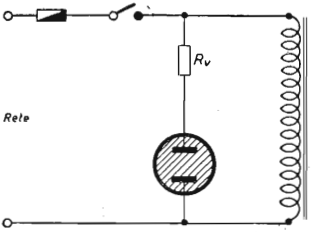

Fig. 6 - Lampada spia indicante che un apparato è sotto tensione.

In alcuni tipi esiste una lente fusa nel bulbo stesso e destinata a concentrare luce. La tensione di innesco è dell'ordine di 90 V per lampadine destinate a funzionare su rete a 110 V, e di 160 V per quelle destinate alle reti a 220 V.

Gli schemi di Fig. 6, 7 ed 8 riportano alcuni esempi di applicazione. In tutti questi casi la lampadina è utilizzata per indicare se un apparato è sotto tensione o meno. La fig. 9 indica la connessione di una lampadina spia che si illumina se il fusibile s'interrompe.

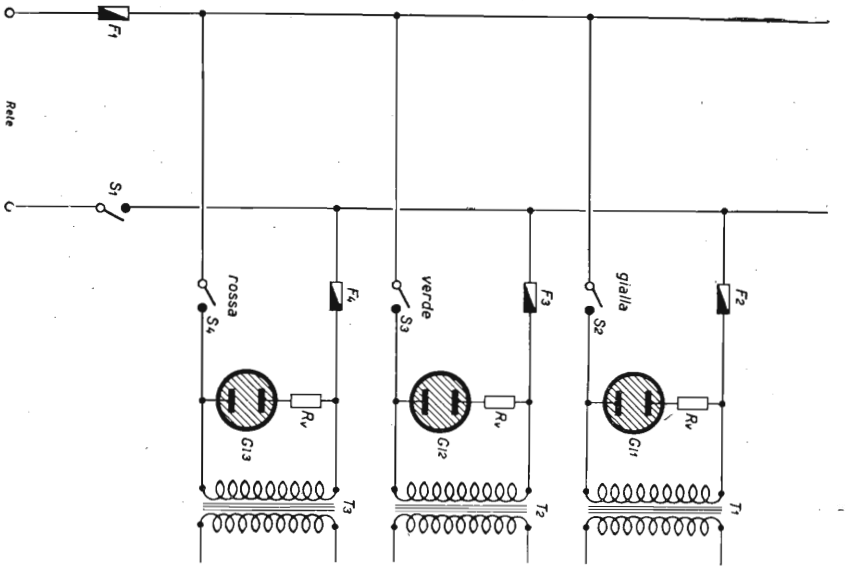

Fig. 7 - Lampada spia di diverso colore in un apparato alimentato dalla rete con differenti utilizzazioni.

3 - Controllo di continuità e di isolamento

Il tubo a gas si è rivelato un mezzo pratico ed economico specialmente per il controllo della continuità in circuiti elettrici. Lo schema più semplice di un apparecchio di questo tipo è riportato in fig. 10. L'alimentazione può essere effettuata direttamente dalla rete a corrente alternata qualora

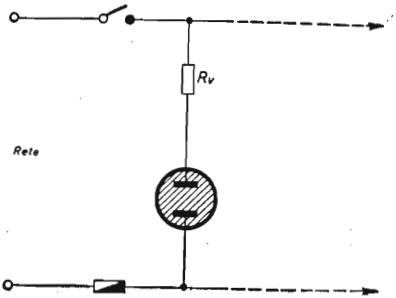

Fig. 8 - La lampada spia si spegne se il fusibile si interrompe.

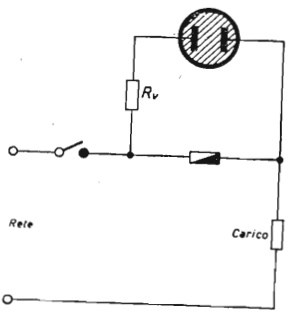

Fig. 9 - Controllo di un fusibile: la lampada spia si accende quando il fusibile è interrotto.

non interessi il controllo di condensatori. In caso contrario si farà uso di una batteria anodica a 100 - 150 V, ovvero di un raddrizzatore. Ai morsetti *a* e *b* verranno collegati due cordoni provvisti di puntale.

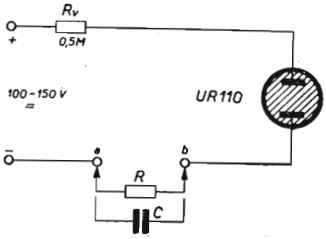

Fig. 10 - Circuito per la prova della continuità di resistenze e dell'isolamento di condensatori.

Il tubo si illumina quando esiste continuità fra i due punti *a* e *b*. A questo proposito occorre ricordare che, nel caso di alimentazione di corrente alternata, si può avere l'accensione del tubo anche misurando avvolgimenti interrotti di trasformatori, impedenze di filtro, ecc.; ciò è dovuto alla capacità interna degli avvolgimenti.

Con l'alimentazione in corrente continua è possibile, come abbiamo detto, anche il controllo dei condensatori. Se il condensatore che si controlla provoca l'accensione continua della lampada, ciò significa che esso è in corto circuito o per lo meno che la sua resistenza di isolamento è molto bassa. Quando invece il condensatore è efficiente e di capacità abbastanza elevata si ha un guizzo di luminosità nella lampada solo al momento in cui si connettono i puntali al condensatore in prova. Ciò è dovuto alla corrente di carica del condensatore. Con questo sistema non si possono misurare i condensatori elettrolitici, in quanto la loro resistenza di fuga è sempre abbastanza bassa da permettere l'innesco continuo della lampada al neon.

Nell'applicazione sopra descritta si possono usare quasi tutti i tipi di tubi a gas finora esaminati. Tuttavia il tipo UR 110, illustrato in fig. 13, è il più indicato allo scopo. Esso innesca a tensione relativamente bassa e presenta una buona luminosità anche con correnti estremamente deboli. La fig. 11 mostra il più semplice circuito per la prova di isolamento verso terra di installazioni elettriche a corrente

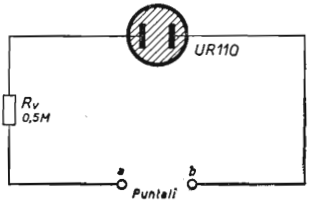

Fig. 11 - Circuito di un misuratore di isolamento.

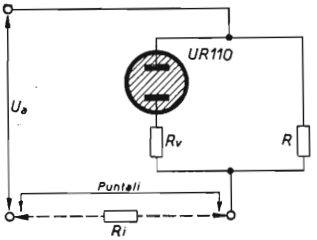

Fig. 12 - Circuito di un misuratore di isolamento per confronto.

alternata. Per misure di confronto di resistenze d'isolamento è consigliabile lo schema di fig. 12. La sua proprietà è che il tubo al neon si illumina quando il valore di resistenza minima di isolamento viene sorpassato. La calcolazione della resistenza R si effettua mediante la formula:

$$R = \frac{R_i}{U_a - U_i} \cdot U_i$$

R_i = Resistenza di isolamento minima
U_a = Tensione di alimentazione
U_i = Tensione di innesco del tubo

con l'aiuto di questo apparecchio è possibile per esempio effettuare la cernita di condensatori la cui resistenza d'isola-

mento è migliore di un certo valore. Presupposto di una sicura indicazione è comunque la stabilità della tensione di alimentazione.

4 - Controllo e misura di tensioni

Per il controllo di tensioni può servire l'apparecchio riportato schematicamente in fig. 11, descritto quale misuratore di isolamento. Se si impiega un tubo del tipo UR110, come è illustrato in fig. 13, è possibile ricavare anche un'indicazione della polarità.

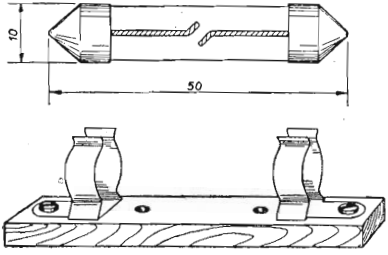

Fig. 13 - Il tubo a luminescenza UR 110 e relativo zoccolo (Costruzione DGL).

Nel caso di corrente alternata, infatti, ambedue gli elettrodi si illuminano della fluorescenza catodica; mentre nel caso della corrente continua soltanto il catodo si ricopre della luminescenza. Su questo principio sono realizzati i cerca-poli illustrati in fig. 14. Talvolta, quando il catodo del tubo ha una lunghezza sufficiente, è possibile ricavare una indicazione approssimativa del valore della tensione controllata. Alcuni cerca-poli hanno proprio una scala graduata

in corrispondenza della feritoia per l'osservazione del tubo. I valori di tensione che si possono così apprezzare sono così compresi all'incirca fra 100 e 500 V.

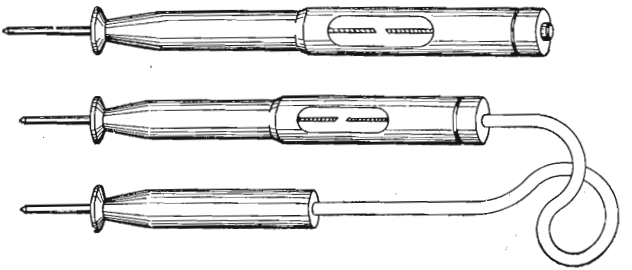

Fig. 14 - Misuratori di tensione tascabili (costruzione DGL).

Gli schemi di fig. 10 e fig. 11 possono venir combinati in un apparecchio universale di prova rappresentato in fig. 15. Con l'ausilio di questo è possibile effettuare controlli di continuità come pure di tensioni. Connettendo l'alimentazione ai morsetti *a* e *b* e di cordoni muniti di puntale ai morsetti *c* e *d* si realizza lo schema di fig. 10 per misure di continuità; cortocircuitando *a* e *b*, si ottiene lo schema di fig. 11 per la misura di isolamento e tensione.

La tensione di innesco dei tubi a gas si può ritenere sufficientemente costante nel tempo per permettere anche misure di tensione. Occorre soltanto ricordare che la tensione d'innesco di un tubo a gas è praticamente indipendente dalla frequenza soltanto fino a 10 kHz al secondo.

Un voltmetro più preciso è illustrato in fig. 16. Dato il consumo molto ridotto del tubo a gas esso permette la misura anche in punti ad impedenza sensibilmente alta. La precisione di misura dipende innanzitutto dal divisore di tensione impiegato. Con un'accurata costruzione non è difficile otte-

nere una precisione compresa entro il + 5%. Ciò equivale a dire che la tensione misurata è in generale esatta entro 10 V.

Nell'esempio riportato si impiega un tubo del tipo UR 110. La minima tensione misurabile è la tensione corrispondente alla tensione d'innesco del tubo UR 110, cioè circa 90 V. Il limite superiore di tensione misurabile dipende unicamente dalla possibilità di sovraccarico del divisore di tensione. Normalmente tale valore non supera 500 V. Come si può osservare dalla fig. 16. il potenziometro P è collegato

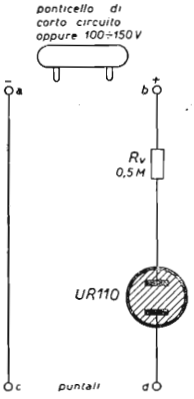

Fig. 15 - Controllore universale di continuità e di tensione.

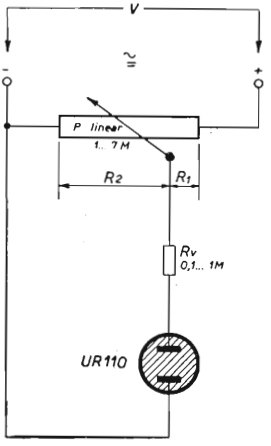

Fig. 16 - Circuito di un voltmetro a luminescenza.

in parallelo alla tensione da misurare U. Il valore del potenziometro P può essere scelto fra 1 e 7 Mohm.

Il tubo al neon comprende una resistenza limitatrice scelta in relazione al valore di P.

Connettendo l'apparecchio ad una sorgente di tensione continua a 220 V, e ponendo il cursore del potenziometro completamente a sinistra, il tubo non mostra alcuna luminescenza. Soltanto quando si ruota il cursore verso destra si verifica l'innesco ad una posizione ben determinata del cursore stesso. Se si contrassegna questo punto, impiegando lo stesso tubo indicatore, ogni volta che si misura una tensione di 220 V l'innesco avverrà sempre al medesimo punto. per effettuare la taratura di questo apparecchietto si potranno misurare ed indicare su una scala graduata alcuni valori di tensione compresi fra 100 e 500 V.

Il voltmetro che abbiamo descritto misura sia corrente continua che corrente alternata. Se la taratura è stata effettuata in corrente continua, qualora si effettuino delle misure di corrente alternata, occorre dividere la lettura per 1,4; con corrente alternata infatti l'innesco avviene al valore di cresta della tensione applicata.

È naturalmente possibile prevedere due scale graduate, l'una per corrente continua e l'altra per corrente alternata. È bene pure, nel caso di misure in corrente continua, rispettare la polarità che si è scelta facendo la taratura.

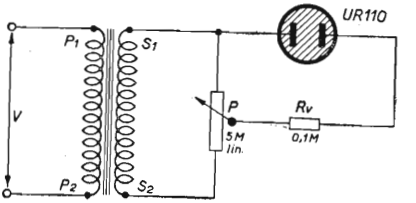

Fig. 17 - Circuito di un misuratore di uscita.

Qualora il potenziometro possieda già una scala tarata in valori di resistenza, è possibile disegnare le scale dei valori di tensione servendosi della formula qui di seguito riportata

$$U = U_i \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$

U_i = tensione di innesco del tubo

volendo misurare delle tensioni di valore molto inferiore, come per esempio la tensione del segnale sulla bobina mobile di un altoparlante è possibile ricorrere al circuito di fig. 17. La tensione da misurare viene qui elevata da un piccolo trasformatore di modo che si possa raggiungere la tensione d'innesco del tubo indicatore. Appare chiaramente come questo sistema sia utilizzabile soltanto in corrente alternata.

5 - Indicatori di alta tensione ed alta frequenza

Per l'indicazione di tensioni più elevate di un migliaio di volt circa vengono impiegati tubi completamente diversi da quelli finora descritti. In generale si tratta di tubi in cui viene sfruttata la luminescenza positiva. Le tensioni d'innesco sono corrispondentemente molto più elevate. Fra questi tipi citiamo il tubo HSR 160, con tensione d'innesco di circa 4000 V. Esso può venire utilizzato fino a tensioni

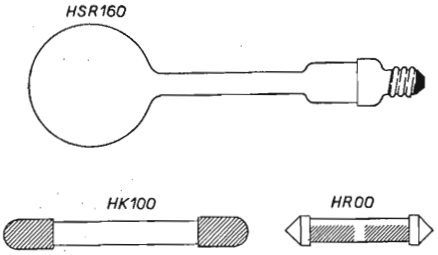

Fig. 18 - Tubi luminescenti per alta tensione ed alta frequenza (costruzione DGL).

dell'ordine di 20 kV. Se un solo elettrodo è connesso a potenziale elevato, si ottiene una debole luminescenza diffusa dovuta alla capacità verso terra della boccia di vetro.

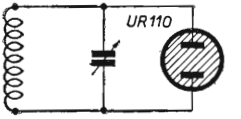

Fig. 19 - Frequenzimetro ad assorbimento.

Per indicare la presenza di alta frequenza vengono sovente impiegati piccoli tubi al neon con elettrodi capacitivi non penetranti cioè nel bulbo contenente il riempimento gassoso. La fig. 18 illustra alcuni tipi di questi tubi. Il tubo HK 100 (fig. 18) è particolarmente adatto come indicatore di risonanza sia nella misura di lunghezze d'onda che nell'accordo di sistemi di antenna. In fig. 19, 20 e 21 sono indicati aicuni sistemi di impiego per queste misure.

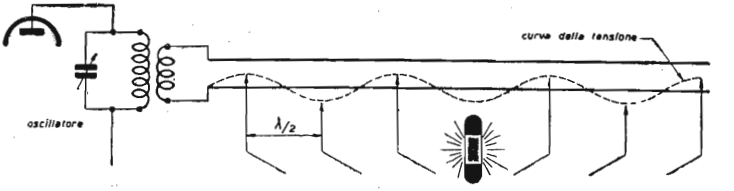

Fig. 20 - Misura della lunghezza d'onda con fili di Lecher.

Se le tensioni ad alta frequenza in gioco lo permettono, l'uso di tubi a gas è preferibile a quello di piccole lampade ad incandescenza. Il consumo dei tubi a gas è infatti molto più ridotto del consumo di lampade a filamento. Con un accoppiamento non molto stretto è possibile avere un'indicazione molto precisa della risonanza. Il tubo che già ab-

biamo incontrato UR 110 si presta molto bene anche in queste applicazioni dato il suo bassissimo consumo e per la ridotta capacità esistente fra gli elettrodi.

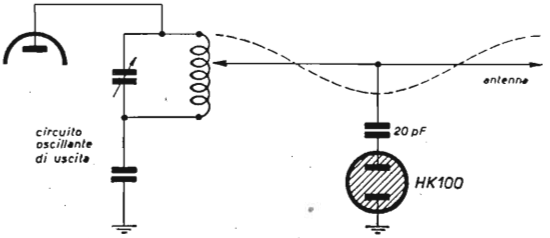

Fig. 21 - Esempio di accordo di antenna con un tubo luminescente

Lo stesso tubo può anche essere impiegato nella misura dei ventri di tensione lungo dei fili di Lecher.

Tubi a gas possono venir impiegati come indicatori di

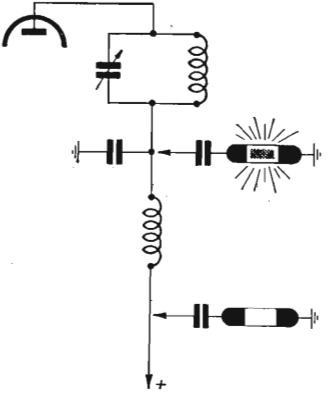

Fig. 22 - Controllo di una bobina di arresto per alta frequenza.

risonanza nell'accoppiamento delle antenne alimentate in tensione, secondo le indicazioni date in fig. 21. È interessante notare che al crescere della frequenza diminuisce la tensione d'innesco dei tubi a gas.

Ciò è dovuto al fatto che campi a radio frequenza provocano una più forte ionizzazione dei gas contenuti nel bulbo dei tubi. Per esempio un tubo la cui tensione d'innesco in corrente continua è di 90 V, a 200 MHz al secondo si eccita già con tensioni di ampiezza dell'ordine di 10 V. In fig. 22, è indicato il sistema di controllare l'efficienza di una bobina d'arresto per alta frequenza.

Abbiamo visto quanto sia ridotto il consumo di questi piccoli tubi; è quindi possibile, allo scopo di avere un'indicazione visiva della presenza di radio frequenza, sistemare un piccolo tubo a gas in prossimità del circuito risonante di un trasmettitore, secondo quanto è indicato in fig. 23.

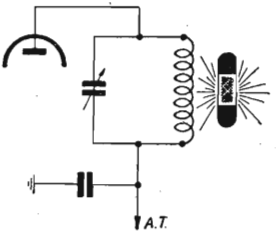

Fig. 23 - Tubo luminescente avvisatore di presenza di radio-frequenza e quindi alta tensione.

È interessante notare come la colorazione della fluorescenza sia dipendente dalla frequenza di eccitazione. Un normale tubo con riempimento di neon possiede fino a circa 20 MHz al secondo la caratteristica luminescenza rosso-arancione. Per frequenze superiori la luminescenza diviene invece bluastra o violacea.

6 - Controllo della modulazione in amplificatori di alta e bassa frequenza

Tubi a scarica di tipo particolare possono venire impiegati per il controllo dell'ampiezza di un segnale ad alta o bassa frequenza. Si tratta di tubi in cui la luminescenza occupa un area variabile in funzione della corrente che scorre attraverso i tubi stessi.

Le forme più comuni di queste lampade sono riportate in fig. 24. Nella quasi generalità dei casi, si tratta di ampolle

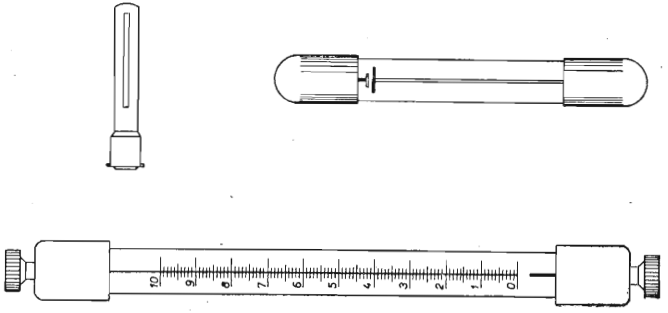

Fig. 24 - Tubi a gas a colonna luminosa variabile (costruzione DGL) a sinistra: PR 145 a destra: AR 220 sotto: ARG 200 con scala graduata.

allungate contenenti un catodo filiforme che occupa quasi interamente la lunghezza del tubo, e di un anodo di dimensioni invece molto ridotte.

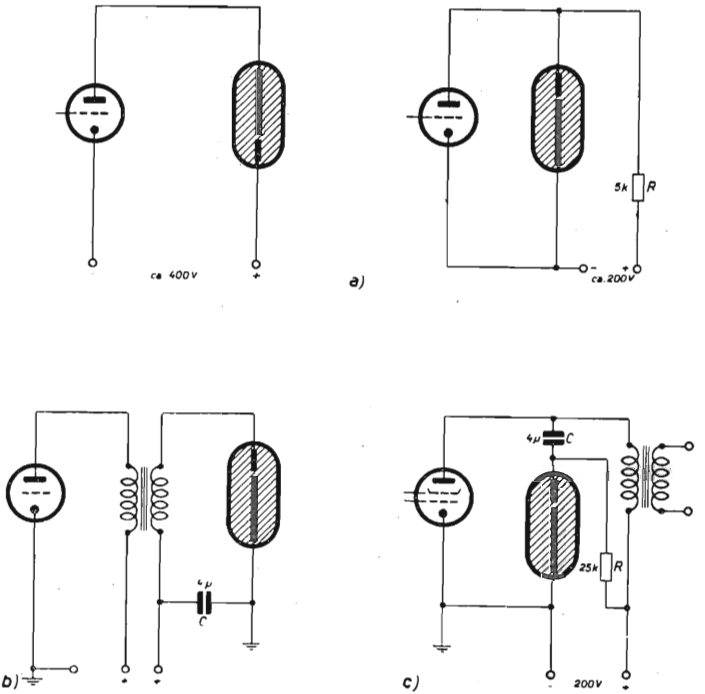

Fig 25 - Indicatori di modulazione per amplificatori a bassa frequenza

a) accoppiamento diretto, a sinistra in serie, a destra in parallelo;

b) accoppiamento a trasformatore;

c) accoppiamento capacitivo.

Alimentando un tubo di questo tipo, la luminescenza catodica occupa una lunghezza che è proporzionale alla corrente di eccitazione.

Come si vedrà dagli esempi riportati questi tubi sono sempre polarizzati con una tensione appena sufficiente a stabilire una debole luminosità sulla parte iniziale del catodo. In tal modo anche con piccoli segnali si ha un pilotaggio visibile del tubo.

Questa polarizzazione iniziale è ottenuta in alcuni tipi a mezzo di un elettrodo ausiliario: una sufficiente tensione su questo elettrodo provoca una debole ionizzazione del gas. Il tubo acquista quindi una proprietà rimarchevole: tensione di innesco e tensione di disinnesco vengono praticamente a coincidere.

Questi tubi indicatori sono in generale previsti per tensioni di lavoro dell'ordine di 180 V; la corrente assorbita massima non supera in generale i 10 mA: con questa corrente la lunghezza della colonna luminosa è di circa 60-100 mm.

L'accoppiamento di un tubo indicatore all'amplificatore può avvenire sia direttamente che attraverso un trasformatore ovvero un condensatore.

La fig. 25 riporta gli schemi di principio di tali accoppiamenti. L'accoppiamento diretto può avvenire sia in serie che in parallelo. Nel primo caso la tensione di alimentazione deve essere alquanto più elevata. Data la presenza del tubo elettronico non è però necessaria la resistenza limitatrice di corrente. Con l'accoppiamento a trasformatore si può inviare la polarizzazione attraverso l'avvolgimento secondario: il condensatore di blocco *C* della fig. 25 b ha lo scopo di evitare attenuazioni del segnale di bassa frequenza. Nell'accoppiamento a resistenza capacità la resistenza va dimensionata come resistenza limitatrice di corrente, ed in conseguenza il condensatore *C* avrà un valore appropriato alla gamma di frequenze da trasmettere, ed alla resistenza.

Nel caso di tubi con elettrodo ausiliario, si provvederà all'alimentazione di quest'ultimo attraverso una resistenza del valore di circa 1 Mohm collegata al positivo.

Qui di seguito sono riportati alcuni esempi di impiego. Il circuito della fig. 26 rappresenta un controllo della modu-

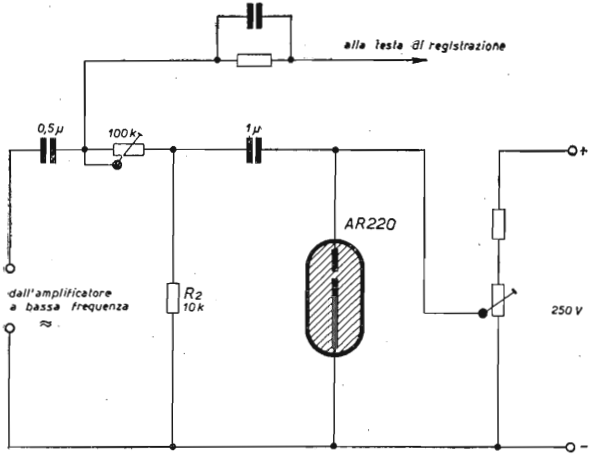

Fig. 26 - Controllo di modulazione per registratore magnetico.

lazione da impiegarsi su un registratore magnetico. Viene impiegato il tubo AR220; la resistenza variabile da 10 kohm viene regolata in modo da aversi la piena luminescenza del catodo in corrispondenza della massima ampiezza di segnale ammissibile senza distorsione. L'impiego del tubo luminescente nei confronti di un occhio magico risiede sopratutto nella sua più lunga durata.

Un altro indicatore di modulazione è riportato dalla fig. 27. Si tratta in questo caso di un tubo RR 145, munito di elettrodo ausiliario

Un caso molto interessante dell'impiego di questi tubi è quello degli indicatori di sintonia. Nei confronti dell'occhio magico il tubo luminescente presenta come già abbiamo detto,, una maggiore durata di vita. Esso è inoltre più robu-

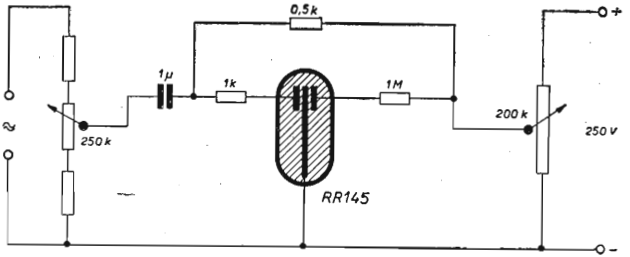

Fig. 27 - Controllo di modulazione con tubo RR 145.

sto e la sua indicazione sovente più leggibile di quella di un tubo elettronico. La fig. 28 riporta la caratteristica lunghezza della colonna luminosa in funzione della corrente di

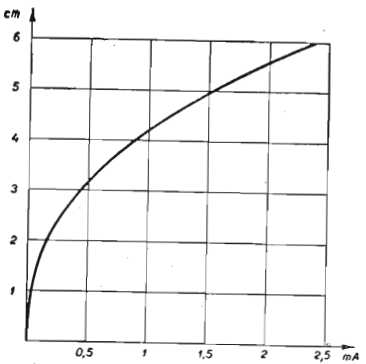

Fig. 28 - Lunghezza della colonna luminosa in funzione della corrente di eccitazione.

eccitazione di uno di questi tubi: essa appare come la sensibilità abbia andamento quasi logaritmico: anche questo è un vantaggio in rapporto all'indicatore a tubo elettronico; che possiede invece una sensibilità pressochè lineare; la più grande sensibilità a valori ridotti del segnale è precisamente richiesta nel caso di un indicatore di sintonia.

In fig. 29 è riportato lo schema di un indicatore di sin-

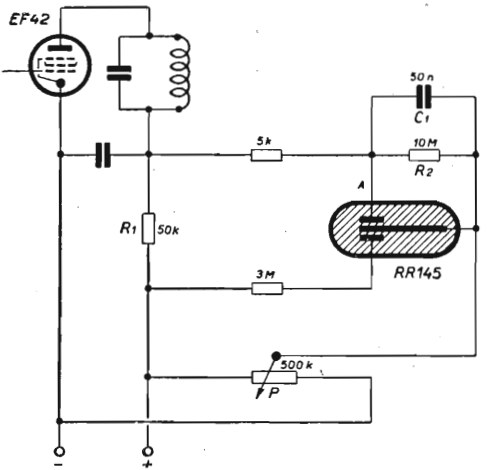

Fig. 29 - Indicatore di sintonia per amplificatore accordato.

tonia a luminescenza inserito in uno stadio amplificatore ad alta o media frequenza. La lunghezza della colonna luminosa è funzione della componente continua della corrente anodica del tubo amplificatore. Tale corrente a sua volta è controllata dalla tensione di controllo automatico di sensibilità, a sua volta proporzionale all'intensità di campo del segnale ricevuto.

7 - Tubi a scarica per operazioni di taratura e di misura

Tubi a scarica del tipo a lunghezza variabile della colonna luminosa si prestano molto bene per scopi di taratura e di misura.

La fig. 30 indica dove può essere collegato un tubo a scarica per effettuare la taratura di un radio ricevitore. Lo schema di fig. 31 riporta le connessioni necessarie per rea-

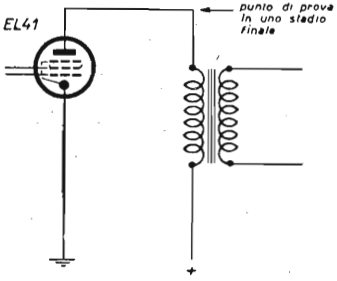

Fig. 30 - Misuratore di uscita inserito nel circuito a bassa frequenza

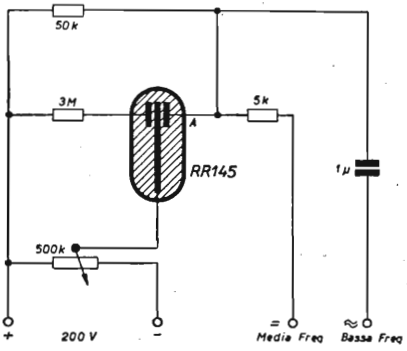

Fig. 31 - Circuito di un apparecchio di prova per bassa e media frequenza.

lizzare un semplice misuratore di media e bassa frequenza con un tubo RR 145. Qualora si voglia inserire il misuratore di uscita in uno stadio a media od alta frequenza si inserirà in serie al circuito anodico di detto stadio una resistenza del valore di alcune migliaia di ohm onde avere ai capi di

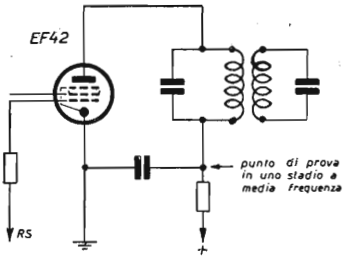

Fig. 32 - Misuratore di uscita inserito in un amplificatore accordato

essa una variazione di tensione proporzionale alla corrente anodica del tubo amplificatore. Nel caso in cui si effettui la taratura con un segnale modulato in ampiezza si potrà inserire il misuratore di uscita indifferentemente sullo stadio finale o sullo stadio a media frequenza. Se invece si effettua la taratura con un segnale puro, cioè senza alcuna modulazione, si dovrà inserire il misuratore sullo stadio a media frequenza. In questo ultimo caso però il misuratore darà un'indicazione corretta soltanto se il ricevitore in taratura è provvisto di controllo automatico di volume.

La tensione necessaria per la polarizzazione dell'indicatore può venire prelevata dalla sezione raddrizzatrice del ricevitore in prova.

Il tubo ARG 200, che possiede una scala divisa in cento parti, si presta molto bene alla realizzazione di un economico misuratore di tensioni, resistenze e capacità. Lo schema

di un tale apparato è riportato in fig. 33. La tensione d'innesco del tubo è di circa 180 V: pertanto la misura di tensioni continue può iniziare soltanto da questo vloore in più. Misure di tensione sono effettuate ponendo il commutatore nella posizione segnata *U*. Con la resistenza limitatrice di 30 kohm si ottiene un campo di misura, in corrente con-

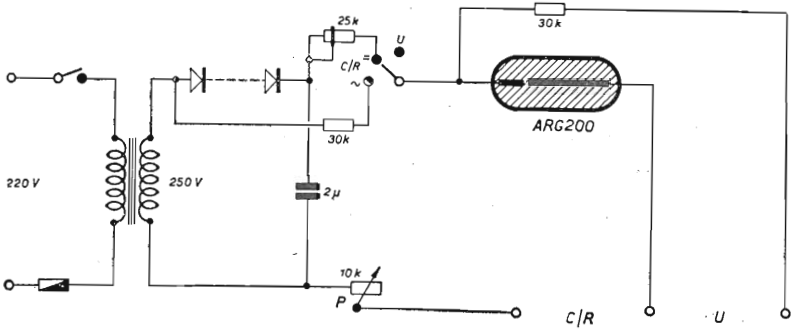

Fig. 33 - Circuito per misure orientative di tensioni, resistenze e capacità con tubo ARG 200.

tinua, che si estende da 180 V a 500 V; in corrente alternata, dato che il tubo innesca ai valori di punta, il campo di misura è limitato fra 125 V_{eff} e 325 V_{eff}. La taratura sarà effettuata con l'aiuto di un misuratore universale, ed il risultato riportato come diagramma su carta millimetrata, ovvero su una scala rettilinea incollata sul tubo indicatore stesso.

Misure di resistenza possono essere effettuate sia in corrente continua che in corrente alternata. La tabella 1 indica i campi di misura valevoli per una tensione di alimentazione compresa fra 200 e 250 V.

MISURE DI RESISTENZA

Tensione di alimentazione	Campo di misura fra 1 e 10 cm di lunghezza della colonna luminosa	
	Corrente continua	Corrente alternata
200 V	100 kΩ - 1 kΩ	250 kΩ - 12 kΩ
220 V	150 kΩ - 1,5 kΩ	500 kΩ - 25 kΩ
250 V	250 kΩ - 5 kΩ	800 kΩ - 40 kΩ

MISURE DI CAPACITA'

Tensione alternata di alimentazione	Campo di misura fra 1 e 10 cm di lunghezza della colonna luminosa	
	a 50 Hz	a 500 Hz
200 V eff.	10 000 cm - 0,2 μF	1000 - 30 000 cm
220 V eff.	5 000 cm - 0,10 μF	500 - 15 000 cm
250 V eff.	3 000 cm - 0,1 μF	300 - 10 000 cm

La misura di capacità può avvenire soltanto in corrente alternata. Con tensioni comprese fra 200 e 250 V, frequenza 50 Hz, i campi di misura ottenibili sono riportati dalla tabella 2. Nell'interesse della vita del tubo è bene limitare i periodi di pilotaggio al cento per cento della lunghezza della colonna luminosa. In ogni caso la corrente assorbita non deve superare 10 mA. Per la taratura dello strumento come ohmetro e capacimetro si farà uso di alcune resistenze e capacità con valori conosciuti e tolleranze sufficientemente ristrette.

Una causa di errore nelle misure è la variazione della tensione di alimentazione. A questo scopo è previsto il potenziometro P: all'inizio della misura si chiuderanno in corto circuito i morsetti C/R, e si regolerà il potenziometro P in modo da portare il bordo variabile della colonna luminosa in corrispondenza della centesima divisione. Un'applicazione originale di questi tubi può essere la realizzazione di una capacità variabile in funzione della corrente assorbita. Se

infatti si metallizza esternamente uno di questi tubi, la capacità esistente fra la metallizzazione ed il catodo è proporzionale alla lunghezza della colonna luminescente, e quindi alla corrente che circola nel tubo.

8 - Applicazione oscillografiche

Sono stati costruiti, a scopi per lo più didattici, dei tubi a scarica chiamati di tipo oscillografico. Si tratta sempre di tubi a colonna luminosa a lunghezza variabile, e due tipi di questi sono indicati in fig. 34. Essendo in generale i tubi

Fig. 34 - Tubi oscillografici (costruzione DGL) ZEG 200 (bipolare) e OR 175 (unipolare).

a scarica privi di inerzia per frequenze fino a circa 50 kHz, è intuitivo che nel caso sia loro applicata una tensione alternata a frequenza inferiore al suddetto valore, la colonna luminosa seguirà istante per istante il valore della corrente circolante.

Se pertanto effettuiamo l'osservazione del tubo non direttamente, ma attraverso uno specchio rotante, avremo l'impressione visiva dell'andamento della corrente circolante nel tubo. Questa rappresentazione è in coordinate cartesiane; se invece fissiamo il tubo lungo il raggio di un disco rotante avremo una rappresentazione polare. Per ottenere una immagine stabile deve sussistere, nel caso dell'osservazione di un

fenomeno periodico, una correlazione fra la frequenza del segnale e la velocità dello specchio ovvero del disco. Questa corrispondenza è riportata dalla formula:

$$f = \frac{n}{p \cdot 60}$$

f = frequenza dell'onda in esame (Hz)

n = velocità del motore (g / min.)

p = numero dei periodi dell'onda visibili sul disco rotante

Sono stati costruiti tubi per questo uso in svariate forme: il tipo chiamato unipolare è sostanzialmente il tipo già esaminato con catodo allungato e anodo di ridottissime dimensioni. Per osservare una corrente alternata sarà quindi necessario polarizzare il tubo con una tensione continua sufficiente ad illuminare una metà del catodo; la corrente alternata sovrapposta allungherà ed accorcerà la lunghezza della colonna in corrispondenza ai semiperiodi di un segno e di segno opposto. Lo schema di utilizzazione di un tubo di questo tipo è riportato in fig. 35. Un'altro tipo è il così detto tipo bipolare: in esso catodo ed anodo hanno ugual

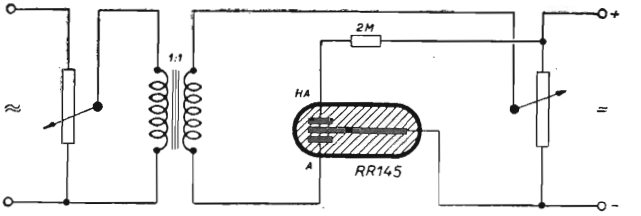

Fig. 35 - Alimentazione di un tubo oscillografico.

lunghezza, e nel caso in cui si applichi al tubo una corrente alternata si illuminano a turno, durante successivi semiperiodi.

9 - Circuiti con rèlè

Dato che in un tubo a gas la scarica avviene soltanto al raggiungimento di una determinata tensione fra gli elettrodi, si può sfruttare questa proprietà per realizzare un relè di tensione. È sufficiente a tale scopo inserire, in serie al tubo un relè elettromagnetico, per la cui eccitazione non

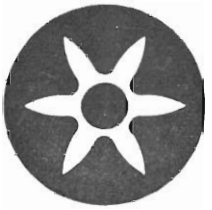

Fig. 36 - Oscillogramma di una corrente alternata.

si richieda una corrente maggiore di quella ammissibile nel tubo. Un esempio di relè per sovratensione è rappresentato nella fig. 37. La resistenza variabile viene regolata

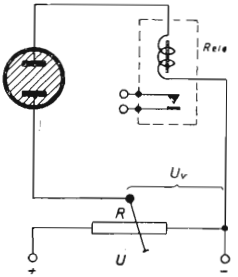

Fig. 37 - Impiego di un tubo a gas come relè di tensione.

in modo che con la tensione nominale applicata ai morsetti d'ingresso il tubo si trovi appena al disotto della tensione di innesco. Una sovratensione di alcuni V è quindi sufficiente a provocare l'innesco del tubo, e quindi l'eccitazione del relè. Nel caso in cui la resistenza ohmmica della bobina del relè sia molto bassa, può essere necessaria una resistenza limitatrice di corrente in serie.

Per applicazioni ove sia richiesta una sensibilità molto maggiore, si impiegano speciali tubi relè, con elettrodo di controllo. Il loro funzionamento si avvicina a quello dei triodi a gas con filamento; nei confronti di questi presentano il vantaggio di una maggior durata di vita. La fig. 38

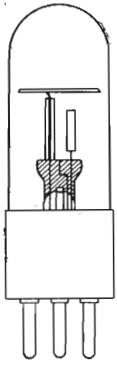

Fig. 38 - Tubo relè a catodo freddo ed elettrodo di controllo.

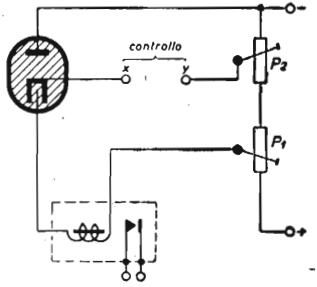

Fig. 39 - Schema d'impiego del tubo relè.

mostra la costruzione interna di uno di questi tubi. Il catodo a forma di disco metallico è opposto all'anodo di dimensioni molto ridotte: in vicinanza del catodo è posto l'elettrodo di controllo, in forma di cerchietto. Per determinare la scarica è sufficiente una corrente dell'elettrodo di controllo del-

l'ordine di 10^{-8} A; se si pensa che nel circuito principale possono scorrere fino a 20 mA, si comprende quanto elevata possa essere l'amplificazione di corrente di un tale tubo. La fig. 39 indica il circuito di principio di un tubo relè. Il controllo, inserito fra i morsetti X ed Y, può essere costituito da un contatto delicato, ovvero da una debole tensione, o anche ad esempio da una cellula fotoresistente. A seconda del tipo di controllo si regolerà il potenziometro P_2 in modo da essere appena al di sotto del punto di innesco del tubo. Se l'alimentazione del tubo è effettuata in corrente continua, una volta innescata la scarica questa si mantiene, anche se l'elettrodo di controllo viene scollegato. La scarica potrà essere interrotta solo discendendo con la tensione di alimentazione al di sotto della tensione di disinnesco del tubo. Quando invece il circuito sia alimentato in corrente alternata, la scarica nel tubo è sempre controllata dall'elettrodo ausiliario, in quanto essa si estingue durante ogni semiperiodo che rende negativo l'anodo del tubo. In quest'ultimo caso la corrente circolante nel relè è unidirezionale, grazie alla proprietà raddrizzante del tubo, e può rendersi necessario un condensatore in parallelo alla bobina di eccitazione per livellare la corrente ed evitare vibrazione dell'ancora.

Dai molti esempi di applicazione di tubi a gas nel comando di relè, vogliamo qui riportarne due soltanto di concezione abbastanza originale.

Il primo di questi circuiti è rappresentato in fig. 40. Esso è previsto per l'alimentazione in corrente continua. Si tratta di un'apparecchiatura adatta a sorvegliare una determinata radio frequenza; potrebbe ad esempio essere impiegata per rivelare la presenza di un'emissione sulla lunghezza d'onda di 600 m (500 kHz), che è internazionalmente adottata quale frequenza di soccorso marittimo. Nel caso in cui l'apparato sia sintonizzato su questa frequenza la presenza anche soltanto di una portante di ampiezza suf-

ficiente provoca l'eccitazione del relè e per conseguenza il funzionamento di una suoneria di allarme.

Il primo tubo lavora come rivelatore per caratteristica di griglia. Quando si ha un segnale all'entrata, la rivelazione che si compie nello spazio griglia catodo del tubo, modi-

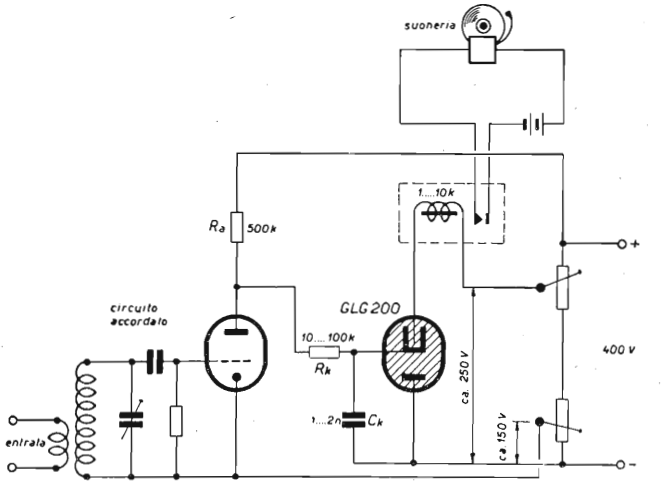

Fig. 40 - La suoneria entra in funzione quando all'entrata sia presente un segnale sufficientemente ampio alla frequenza di accordo.

fica il valore medio della corrente anodica. La caduta di tensione ai capi della resistenza di carico R_a aumenta ed aumenta in conseguenza anche la differenza di potenziale fra il catodo del tubo a gas e l'elettrodo di innesco.

Nel circuito dell'elettrodo di innesco è inserito un gruppo *R-C*, il quale favorisce l'innesco della scarica anche nel caso di segnali piuttosto deboli. Quando la corrente circolante fra l'elettrodo di accensione ed il catodo del tubo a

gas raggiunge il valore minimo necessario per l'innesco della scarica, il passaggio alla conduzione avviene più sicuramente grazie all'energia accumulata dal condensatore *C*.

La fig. 41 riporta lo schema di un relé a prossimità. L'apparecchiatura impiega un solo tubo con elettrodo d'innesco, ed è alimentata in corrente alternata. È sufficiente il contatto, o anche solo la prossimità, di un corpo conduttore, anche se questo è isolato dalla terra, purchè possegga una capacità sufficiente (dell'ordine di un 100 pF), all'elettrodo di controllo *L*, affinchè la scarica avvenga ed il relé sia ec-

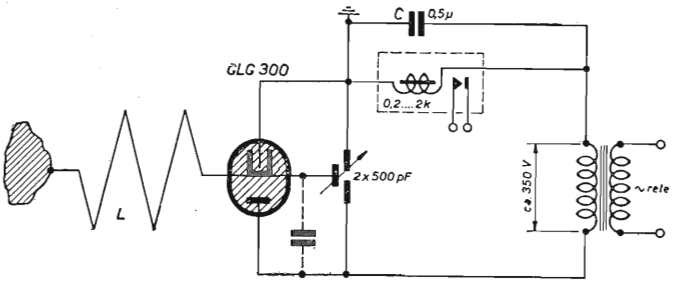

Fig. 41 - Relè a prossimità.

citato. L'elettrodo ***L*** può essere costituito da alcuni decimetri di filo conduttore, ovvero da una piastra di qualsiasi forma, o anche da un oggetto metallico, come per esempio uno sportello. L'innesco del tubo a gas avviene per variazione di capacità di questo elettrodo. Praticamente questo elettrodo con la sua capacità viene a far parte di un divisore capacitivo costituito da un condensatore variabile differenziale di circa 500 pF per sezione. Senza oggetti conduttori in prossimità di *L* si regola il condenzatore differenziale, possibilmente mediante un albero di comando isolante e prolungato, un pó al di sotto della posizione che provoca l'innesco della scarica.

Può essere talvolta necessario inserire un condensatore fisso di qualche decina di pF sul lato fra elettrodo di controllo e anodo del tubo. In queste condizioni un'aumento della capacità verso massa dell'elettrodo *L* provoca l'innesco della scarica.

10 - Oscillatori a rilassamento

La proprietà più caratteristica di un tubo a gas è quella di possedere un determinato valore della tensione di innesco, ed un valore nettamente più basso della tensione di disindesco. Questa proprietà può facilmente venire sfruttata per nottenimento di oscillazioni a dente di sega. L'ampiezza delle oscillazioni ottenibiil è pari alla differenza fra la tensione di innesco e la tensione di disinnesco del tubo impiegato.

Molto numerose sono le applicazioni del tubo a gas quale oscillatore a rilassamento. Ciò è dovuto specialmente alla grande semplicità dei circuiti che gli permettono questo funzionamento; esistono naturalmente anche degli svantaggi: il limite superiore di frequenza per esempio è dell'ordine di 4 kHz, e la stabilità dell'oscillazione ottenuta non

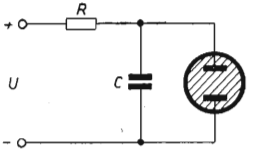

Fig. 42 - Circuito di principio di un generatore a denti di sega.

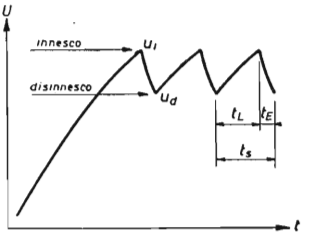

Fig. 43 - Andamento di una tensione a denti di sega.

è molto rilevante nei confronti di quella di generatori con tubi a vuoto o anche tiratrons.

Inoltre l'ampiezza dell'oscillazione decresce all'aumentare della frequenza. Pur tuttavia esiste un campo d'impiego molto vasto per questi semplici oscillatori a dente di sega.

La fig. 42 riporta lo schema di principio di un oscillatore a denti di sega realizzato con un tubo a gas. Quest'ultimo è connesso in parallelo sul condensatore C, il quale si carica attraverso la resistenza R da una sergente di tensione U. La tensione ai capi del condensatore cresce esponenzialmente nel tempo, a partire da zero dal momento in cui la tensione U è applicata. Quando la tensione ai capi del condensatore raggiunge il valore UI della tensione di innesco del tubo, questo si accede e scarica il condensatore. Quando si raggiunge ai capi del condensatore il valore della tensione UD di disinnesco, la scarica nel tubo si estingue ed il condensatore riprende a caricarsi attraverso la resistenza R dalla sorgente di tensione U. Affinchè il circuito possa funzionare la tensione U deve essere alquanto superiore alla tensione di innesco del tubo, e la resistenza di carica R pari ad almeno 4 o 5 volte alla resistenza interna del tubo durante la scarica. L'andamento del fenomeno è rappresentato in fig. 43.

La frequenza dell'oscillazione generata dipende da entrambe le costanti di tempo di carica e di scarica. Fronte anteriore e fronte posteriore dell'onda hanno andamento esponenziale: questo si può rendere tanto più lineare quanto più alta si scelga la tensione di alimentazione U ed il valore della resistenza di carica R (per ciò che riguarda il fronte anteriore), e quanto più elevata è la tensione di disinnesco del tubo (per quanto riguarda il fronte posteriore). Vediamo ora di indicare qualche formula per il dimensionamento dei componenti.

Con riferimento ai simboli impiegati in fig. 42 ed in fig. 43, si ha il valore del tempo di salita T_2 nel dente di sega;

$$t_L = R \,.\, C \,.\, l_u \frac{U - U_d}{U - U_i} \text{ (sec, V, } \pi\text{F, M}\Omega\text{)} .$$

Il tempo di discesa T_e è dato da:

$$t_E = R_i \,.\, C \,.\, l_u \frac{U_i}{U_d} \text{ (sec) ove } R_i = \text{res. int. del tubo.}$$

La resistenza interna R_i del tubo a gas è generalmente dell'ordine di 500 - 1000 ohm.

Il tempo totale dell'oscillazione è quindi:

$$t_S = t_L + t_E \text{ (sec)}$$

e la frequenza è data dalla formula:

$$f = \frac{1}{t_E + t_E} \text{ (Hz)}$$

In questa formula si può sostituire ai tempi parziali T_l e T_e la loro espressione semplificata; ottenendo la formula che fornisce con buona approssimazione la frequenza generata:

$$f = \frac{U - \left(\frac{U_i + U_d}{2}\right)}{C \,.\, R \,(U_i - U_d} \text{ (Hz)}$$

come già abbiamo detto la tensione ai capi del condensatore, sia durante la carica che durante la scarica, segue un andamento esponenziale. È possibile rendere lineare il fronte anteriore dell'onda qualora si riesca a mantenere costante la corrente di carica del condensatore durante il tempo di salita. Ciò si può ottenere in diversi modi: per esempio inserendo al posto della resistenza R lo spazio anodo catodo di un diodo che lavori nella zona di saturazione, in cui cioè la corrente circolante è praticamente costante e non dipendente dalla tensione acceleratrice. Un sistema migliore

consiste nell'usare un pentodo, il quale possiede una zona estesa di caratteristiche di lavoro in cui la corrente anodica risulta praticamente indipendente dalla tensione anodica.

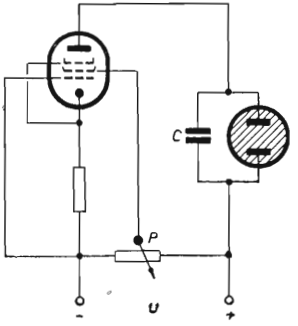

Fig. 44 - Pentodo come resistenza di carica.

La fig. 44 riporta precisamente lo schema di un oscillatore a rilassamento con pentodo quale resistenza di carica. Il valore di questa resistenza di carica, e quindi della frequenza generata, può essere variato mediante la variazione della tensione di schermo del pentodo. Per il montaggio in circuiti di oscillatori a rilassamento vengono costruiti tubi a gas speciali. Le ampiezze ottenibili sono comprese fra 10 e 300 V. Per frequenze acustiche con ampiezza relativamente piccola viene spesso impiegato il tubo universale UR 110; l'ampiezza ottenibile è dell'ordine di circa 10 V.

Con un'ampiezza dell'ordine di 15 V lavora il tubo KR 100; per entrambi questi tipi la tensione d'innesco è inferiore a 100 V; e la frequenza massima di lavoro dell'ordine di 4 kHz. Altri tubi a gas adatti all'impiego come oscillatori (KR 200, KR 400, KR 150 e KR 280) sono illustrati in fig. 45: le caratteristiche sono riportate in una

tabella in appendice. In tutti questi tipi l'ampiezza di oscillazione ammonta ad almeno 50 V, il limite di frequenza è peró sempre inferiore a 4 kHz, e per i due tipi KR 150 e KR 280 raggiunge soltanto 20 Hz. Quando si vogliono raggiungere frequenze di oscillazione più elevate ed ampiezze vicine alla tensione di alimentazione, si possono impiegare i tubi a gas con elettrodo di controllo, come abbiamo visto nelle applicazioni in circuiti con relé. Con questi tubi si ha anche il vantaggio di potere facilmente sincronizzare l'oscillazione generata con una frequenza esterna, per esempio quella della rete.

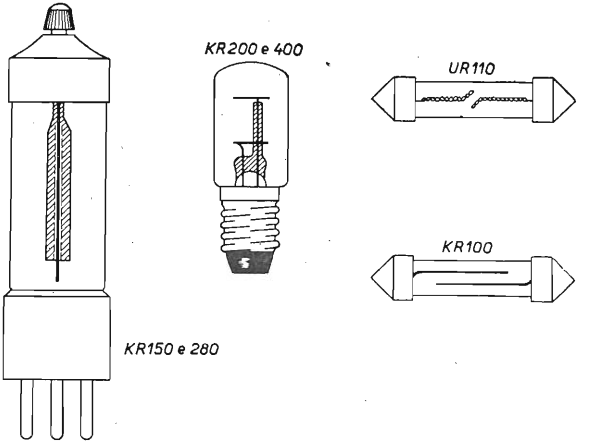

Fig. 45 - Tubi per oscillatori (costruzione DGL); a destra in alto UR 110; a destra in basso KR 100; a sinistra KR 150 e 280; al centro KR 200 e 400.

Uno schema di oscillatore sincronizzabile è riportato in fig. 46.

Il pentodo P carica il condensatore C fino alla tensione di innesco del tubo a gas; la frequenza può essere regolata variando la capacità C, eventualmente per gradini mediante un commutatore che inserisce condensatori di valore diffe-

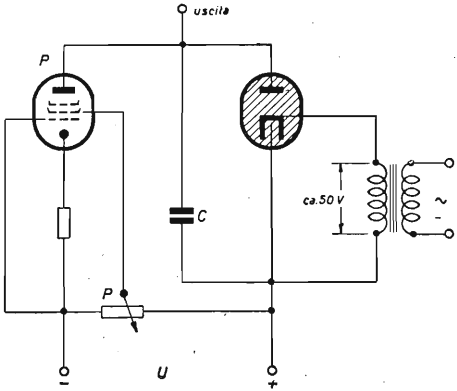

Fig. 46 - Generatore sincronizzato con tubo a elettrodo di controllo.

rente. La regolazione fine è effettuata con l'ausilio del potenziometro P. Questo circuito è particolarmente indicato come oscillatore a denti di sega per lo spazzamento orizzontale di oscilloscopi. La frequenza massima è di circa 12 kHz. Per una buona sincronizzazione la frequenza propria dell'oscillatore deve essere regolata in modo da assumere un valore leggermente inferiore alla frequenza nel segnale di sincronizzazione. Quest'ultimo poi, per evitare distorsioni nella forma d'onda generata, deve possedere una ampiezza appena sufficiente a mantenere la sincronizzazione. È possibile sincronizzare l'oscillatore anche su frequenze doppie o metà della frequenza del segnale sincronizzante.

In tutti questi oscillatori con tubo a gas la costanza

della frequenza dipende essenzialmente dalla costanza della tensione di alimentazione.

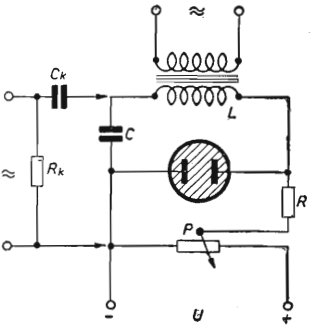

Fig. 47 - Generatore a frequenza stabilizzata.

La fig. 47 riporta lo schema di un oscillatore particolarmente stabile. Se nel circuito di carica del condensatore è inserita una induttanza L, la frequenza generata diventa tanto più stabile ed indipendente dalla tensione di alimentazione, quanto più essa si avvicina alla frequenza di risonanza del gruppo L-C. L'induttanza L inoltre effettua uno smussamento degli spigoli della forma d'onda, approssimandola molto alla forma sinusoidale. Se l'induttanza L è costituita dal primario di un trasformatore, si possono raccogliere sul secondario oscillazioni quasi perfettamente sinusoidali. Se l'induttanza L è costituita da una semplice bobina, si puó accoppiare l'oscillatore ad un circuito esterno attraverso un gruppo a resistenza - capacità. Per permettere la regolazione esatta della frequenza è previsto un potenziometro P che varia la tensione di alimentazione Qui di seguito sono riportati alcuni esempi di applicazioni di oscillatori con tubo a gas.

La fig. 48 illustra un modulatore per un oscillatore ad alta frequenza. Se si impiega un tubo mescolatore come oscillatore ad alta frequenza, si può iniettare la modulazione su una delle griglie di controllo. Nel caso di un pentodo

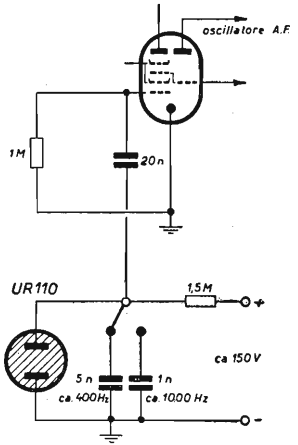

Fig. 48 - Modulatore per oscillatore.

è possibile la modulazione sulla griglia di soppressione. Se si desiderano differenti frequenze di modulazione con ampiezza all'incirca uguale, si renderà variabile la capacità impiegando differenti condensatori inseribili a mezzo di un commutatore. Un'altra applicazione di oscillatore con tubo a gas è riportata in fig. 49: si tratta dello schema di principio di un oscillatore per esercitazioni in telegrafia. La frequenza è fissa all'incirca del valore di 1000 Hz. In A è possible inserire il tasto manipolatore; in B si può inserire la cuffia ovvero l'altoparlante. In pratica è opportuno in questi oscillatori di poter variare la frequenza generata, per

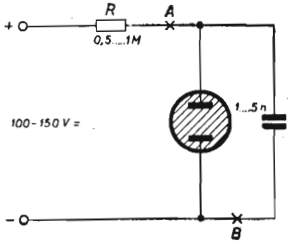

Fig. 49 - Schema di oscillofono.

poterla adattare all'orecchio e simulare le vere condizioni di ricezione telegrafica. La fig. 50 riporta pertanto lo schema di un oscillatore completo. Una regolazione grossolana della frequenza è effettuata variando il condensatore *C* (ovvero inserendo differenti valori di *C* mediante un commutatore). La regolazione fine è invece realizzata con una resistenza variabile da 1 Mohm. Un ricevitore di tipo telefonico può essere inserito direttamente nel circuito del condensatore; altri ricevitori si possono inserire come indicato nella parte

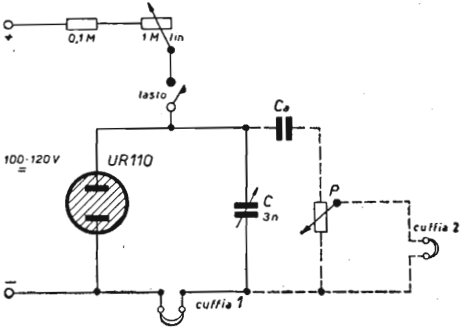

Fig. 50 - Oscillofono a frequenza e volume regolabili.

tratteggiata dello schema, il condensatore di accoppiamento C_a è di circa 20.000 pF, ed il potenziometro P per la regolazione del volume, di circa 1 Mohm.

Quando si debbono alimentare parecchi ricevitori, come può accadere in una scuola di telegrafia, la potenza ottenibile direttamente da un oscillatore con tubo a gas diviene insufficiente, ed occorre prevedere uno stadio amplificatore. La fig. 51 riporta uno schema di questo genere.

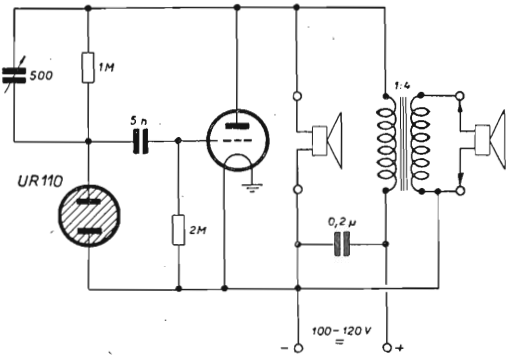

Fig. 51 - Oscillofono con stadio amplificatore

Qualora si faccia uso per l'alimentazione della tensione di rete raddrizzata, si può ricorrere al circuito di fig. 52. Esso è provvisto di adeguato filtraggio, e due condensatori di blocco assicurano l'isolamento del ricevitore della rete di alimentazione.

La frequenza è regolabile mediante il potenziometro P_1, ed il volume sonoro mediante P_2. Per ottenere una nota il più possibile musicale è consigliabile lavorare con tensione di alimentazione appena sufficiente a mantenere le oscillazioni.

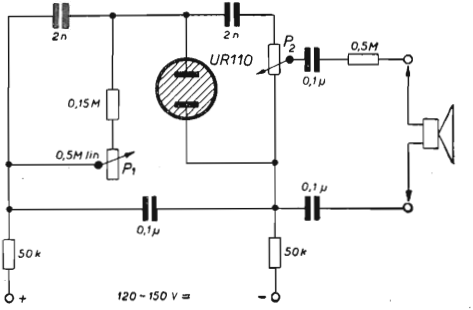

Fig. 52 - Oscillofono per alimentazione da raddrizzatore.

L'oscillatore con tubo a gas permette anche la misura di capacità e resistenze. Gli schemi a) e b) di fig. 53 indicano appunto rispettivamente un ohmmetro ed un capacimetro di questo tipo. È possibile misurare valori resistivi compresi fra 1000 e 10.000 ohm e valori capacitivi fra 10 pF e 10 μF con un errore dell'ordine del ± 1%. La misura avviene con il metodo di sostituzione: il condensatore ovvero la resistenza, di valore incognito vengono sostituiti al corrispondente elemento di valore noto inserito in un circuito oscillatore con ricevitore telefonico. Un commutatore permette il rapido passaggio dall'elemento noto all'elemento incognito. Si confrontano mediante l'orecchio le due frequenze e l'elemento noto viene variato in modo da renderle il più possibile identiche. L'orecchio è capace di discernere con facilità una differenza di frequenza dell'ordine dell'1%, al centro della gamma acustica. Lo schema di fig. 53/b permette anche di verificare la resistenza d'isolamento del condensatore incognito. Commutando S2 il condensatore incognito viene alternativamente posto in parallelo al tubo a gas ovvero in parallelo alla resistenza di carica. Nel caso in cui la sua resistenza sia comparabile con la resistenza di carica si ottiene una frequenza differente della nota generata

nelle due posizioni. Quando infatti il condensatore C_x in è parallelo al tubo la sua resistenza d'isolamento fa diminuire la frequenza dell'oscillatore, quando invece è in parallelo alla resistenza di carica ne fa aumentare la frequenza; l'effetto è tanto più marcato quanto più piccola è la resistenza d'isolamento del condensatore.

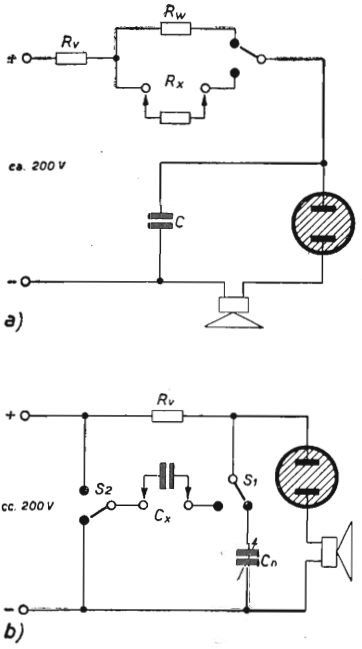

Fig. 53 - Ponte con tubo a gas: *a*) misura di resistenze; *b*) misura di capacità.

Per la misura di piccole capacità al di sotto di 10 pF, si effettua prima la misura di un condensatore di capacità molto più rilevante; in parallelo a questo si inserisce quindi il condensatore incognito di piccola capacità, e si effettua nuovamente la misura. La differenza fra le due misure indica la capacità del condensatore incognito .

Nella misura di grandi capacità, a partire da 1 μF, la frequenza generata è troppo bassa per essere controllata ad orecchio. Conviene quindi contare il numero di impulsi per minuto. Effettuata questa operazione sia con un condensatore noto che con il condensatore in prova si può ricavare il valore incognito di capacità mediante la formula qui sotto riportata:

$$C_x = \frac{Z_n}{Z_x} \cdot C_n$$

C_x = Capacità del condensatore in prova
C_n = Capacita del condensatore noto
Z_x = Impulsi di scarica per minuto del condensatore in prova
Z_n = Impulsi di scarica per minuto del condensatore noto.

11 - Stabilizzatori e divisori di tensione

Una grande importanza rivestono i tubi a gas quali stabilizzatori di tensione continua. Quando essi siano inseriti all'uscita di un raddrizzatore alimentato dalla rete, possono stabilizzare sia variazioni della tensione di alimentazione che variazioni di tensione dovute alla variazione della resistenza di carico.

I tubi stabilizzatori sono espressamente costruiti per questo scopo, e la loro funzione si esplica grazie all'andamento della caratteristica tensione - corrente riportata in fig. 54, e che rappresenta una parte della caratteristica gene-

rale dei tubi a gas riportata in fig. 1. La stabilizzazione della tensione continua di alimentazione è particolarmente importante nel caso di strumenti di misura, di oscillatori in ricevitori e trasmettitori, e in simili altre applicazioni. La fig. 55 riporta lo schema di massima di un tubo a gas impiegato come stabilizzatore. In pratica si danno tre casi in cui il tubo stabilizzatore deve poter esplicare a pieno la sua funzione:

1°) variazioni di tensione dovute alla rete di alimentazione, con resistenza di carico all'uscita costante.

2°) Variazioni della resistenza di carico (che introdurrebbero variazioni della tensione in conseguenza della resistenza interna dell'alimentatore), con tensione di rete costante.

3°) Variazioni contemporanee della resistenza di carico e della tensione di rete.

In tutti i casi la tensione di alimentazione deve rimanere superiore alla tensione di arco del tubo a gas (che rappresenta la tensione stabilizzata). Ogni variazione di tensione imposta dalla rete ovvero dalla variazione del carico viene risentita come variazione della caduta di tensione ai capi della resistenza R_v in serie al tubo a gas. Indipendentemente dal dimensionamento di questa resistenza, e dalla scelta del punto di lavoro del tubo la tensione di alimentazione deve avere un valore minimo che è espresso da:

$$U_a \geq U_i \quad \frac{I_{st}\ (\max)}{0{,}9\ (I_{st}\ (\max) + I_L) - 1{,}1\ \dfrac{U_i}{U_s}\ I_L}$$

U_a, U_s, U_{st}, I_L : con riferimento alla figura 54 e 55.

U_i: tensione di innesco del tubo.

1° *Caso:*

Per la stabilizzazione delle variazioni della tensione di rete con una resistenza di carico costante la resistenza in

serie R_v va scelta in modo tale che con la tensione minima di alimentazione circoli ancora una corrente superiore alla corrente minima richiesta dal tubo per lavorare nella sua parte orizzontale della caratteristica. D'altra parte con la tensione massima prevedibile non deve circolare nel tubo una corrente superiore alla massima ammissibile senza sovraccarico. In pratica si comincerà a scegliere il tubo stabilizzatore con una corrente media di lavoro il più possibile prossima alla corrente richiesta dal carico. La resistenza in serie verrà quindi determinata per portare a lavorare il tubo a metà circa della sua caratteristica lineare con la tensione nominale all'ingresso.

Quando la tensione di alimentazione varia la corrente nel carico rimane praticamente costante mentre tutta la variazione relativa di corrente è assunta dal tubo stabilizzatore.

2° *caso:*

Quando si voglia stabilizzare la tensione ai capi di un carico variabile, ammettendo che la tensione di rete resti costante, occorre che con la massima corrente assorbita dal carico la corrente circolante nel tubo non sia inferiore al valore minimo necessario per la stabilizzazione; reciprocamente, con la minima corrente assorbita dal carico, la corrente circolante nel tubo non deve superare il valore massimo per evitare il sovraccarico del tubo stesso.

Il tubo stabilizzatore dovrà essere scelto in modo tale che la variazione della corrente di carico sia inferiore alla differenza fra corrente massima e corrente minima del tubo stesso.

In ogni caso la corrente massima nel carico non deve superare il valore indicato dalla formula:

$$I_L \leq \frac{I_{st}\ (\max)}{2}$$

Come nel caso precedente la resistenza in serie viene determinata in modo che con l'assorbimento medio del carico il tubo lavori al centro della sua caratteristica lineare.

3° *caso:*

Per stabilizzare una tensione sia nel caso di variazioni nella tensione di rete che nel caso di variazione della resistenza di carico occorre che con la più grande corrente di carico e la più piccola tensione di alimentazione non venga sorpassato il limite inferiore di corrente del tubo; e così pure che con la tensione massima di alimentazione e corrente minima del carico non venga sorpassata la corrente massima ammissibile nel tubo.

Qualora si sia scelto il tipo di tubo stabilizzatore si può calcolare la resistenza in serie mediante la formula:

$$R_v = \frac{U_a - U_s}{I_{st} + I_L}$$

Nella formula sopra scritta si inseriranno il valore nominale della tensione di alimentazione ed il valore medio della corrente nel carico.

Si procederà quindi alla verifica mediante il procedimento qui appresso riportato. Qualora si preveda il funzionamento a vuoto (alimentatore con tubo stabilizzatore senza carico inserito) occorre verificare che la resistenza in serie non sia inferiore al valore dato da:

$$R_v \geq \frac{U_a\,(\max) - U_s}{I_{st}\,(\max)}$$

Comunque se la condizione a vuoto si verifica soltanto per alcuni secondi a partire dall'atto dell'accensione, un sovraccarico anche del doppio nel tubo a gas è ammissibile senza danni. I limiti superiori ed inferiori della resistenza di carico in funzionamento normale sono indicati rispettiva-

mente dalle formule:

$$R_v = \frac{U_a\,(\min) - U_s}{I_{st}\,(\min) + I_L\,(\max)} \cdot \frac{100}{100 + p}$$

U_a (min) = tensione di alimentazione minima
I_{st} (min) = corrente minima ammissibile attraverso il tubo
I_L (max) = corrente di carico massima
p = tolleranza percentuale della resistenza R_v impiegata

$$R_v = \frac{U_a\,(\max) - U_s}{I_{st}\,(\max) + I_L\,(\min)} \cdot \frac{100}{100\ p}$$

U_a (max) = tensione di alimentazione massima
I_{st} (max) = corrente massima ammissibile attraverso il tubo
I_L (min) = corrente di carico minima

la formula seguente serve a controllare che l'innesco possa avvenire senza difficoltà (questa condizione è già compresa nelle altre due limitazioni riportate):

$$R_v = \frac{U_a\,(\min) - U_i}{\dfrac{U_i}{U_s} \cdot I_L\,(\max)} \cdot \frac{100}{100 + p}$$

Come già abbiamo detto la stabilizzazione non è assolutamente perfetta, e si può calcolare la variazione della tensione stabilizzata in funzione della variazione della tensione di alimentazione dalla:

$$\Delta U_s = \Delta U_a \cdot \frac{R_d}{R_v + R_d}$$

ΔU_s = variazione della tensione di alimentazione
ΔU_a = variazione della tensione stabilizzata
R_d = resistenza differenziale del tubo

La resistenza differenziale del tubo è ricavabile dalla sua caratteristica ed è rappresentata da:

$$R_d = \frac{\Delta U_s}{\Delta I_{st}}$$

La variazione della tensione stabilizzata dovuta alla variazione della corrente di carico è invece rappresentata

$$\Delta U_s = \Delta I_L \cdot R_d$$

Come si vede l'impiego del tubo stabilizzatore equivale all'impiego di un generatore di tensione con resistenza interna pari alla resistenza differenziale del tubo stesso.

Per la migliore comprensione di quanto è stato esposto vediamo ora qualche esempio di calcolo

(1° caso) - un carico di 25 kohm abbisogna di una tensione di 85 V, che deve essere mantenuta costante al variare della tensione di alimentazione. Se questa ha il valore di 250 V e può variare, in conseguenza ad oscillazioni della rete di distribuzione, del $\pm$ 10%, la tensione a monte del tubo stabilizzatore potrà variare fra 225 e 275 V. Il tubo 85 A2 (di cui è riportata la caratteristica in fig. 54) si presta bene allo scopo. Si controlla anzitutto se la tensione di alimentazione è sufficientemente elevata:

$$U_a \geq 125 \cdot \frac{10}{0.9\,(10 + 3{,}4 - 1{,}1\,\frac{125}{85} \cdot 3{,}4} \sim 200 \text{ V}$$

Questa condizione come si vede, è rispettata.

La resistenza in serie sarà calcolata come segue:

$$R_v = \frac{250 - 85}{6 + 3{,}4} = 17{,}55 \text{ k}\Omega$$

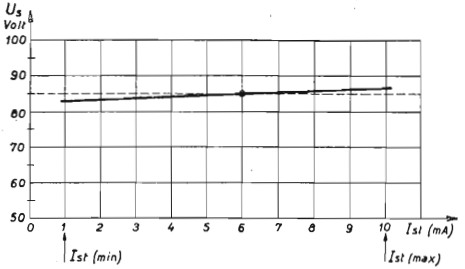

Fig. 54 - Caratteristica tensione-corrente di un tubo stabilizzatore

i controlli del limite minimo e massimo della resistenza in serie portano alle espressioni seguenti:

$$R_v \leq \frac{225-87}{1+3{,}48} \cdot \frac{1}{1{,}05} = 29{,}4\ \text{k}\Omega \quad \left(I_{L,\,max} = \frac{87 \cdot 3{,}4}{85} = 3{,}48\right)$$

$$R_v \geq \frac{275-83}{10+3{,}32} \cdot \frac{1}{0{,}95} = 15{,}5\ \text{k}\Omega \quad \left(I_{L,\,min} = \frac{83 \cdot 3{,}4}{85} = 3{,}32\right)$$

$$R_v \leq \frac{225 - 125}{\frac{125}{87} \cdot 3{,}48} \cdot \frac{1}{1{,}05} = 19\ \text{k}\Omega$$

si è ammessa in questa calcolazione una tolleranza del $\pm$ 5% sul valore della resistenza in serie. Le verifiche effettuate mostrano quindi che il tubo 85 A2 si presta allo scopo propostoci. Dalla caratteristica di fig. 54 risulta che una variazione del 10% della tensione di alimentazione e la conseguente variazione della corrente provocano una variazione

della tensione di arco pari a:

$$\Delta U_s = 25 \cdot \frac{0{,}280}{17{,}5+0{,}280} = 0{,}33 \text{ V}$$

La variazione del 10% viene quindi ridotta al:

$$100 \cdot \frac{0{,}33}{85} = 0{,}4\%$$

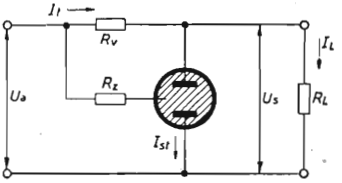

Fig. 55 - Schema d'inserzione di un tubo stabilizzatore.

Naturalmente si possono stabilizzare delle tensioni per cui esistono sul mercato dei tubi stabilizzatori. In generale questi ultimi vengono costruiti per tensioni stabilizzate comprese fra 70 e 150 V.

Nel caso di variazioni molto ridotte della tensione di rete e della corrente assorbita dal carico possono anche venir impiegati tubi a gas normalmente previsti per segnalazione o altri scopi. In tutti gli altri casi è necessario ricorrere ai tubi specialmente studiati per questo scopo. Le fig. 56, 57 e 58 riportano i tipi più correnti di costruzione europea.

Per la stabilizzazione di tensioni elevate, si possono collegare in serie parecchi tubi stabilizzatori, purchè siano dello stesso tipo: la fig. 59 indica la connessione in cascata di 3 tubi, per la stabilizzazione di una tensione tripla della tensione di arco di un tubo. Naturalmente è possibile usu-

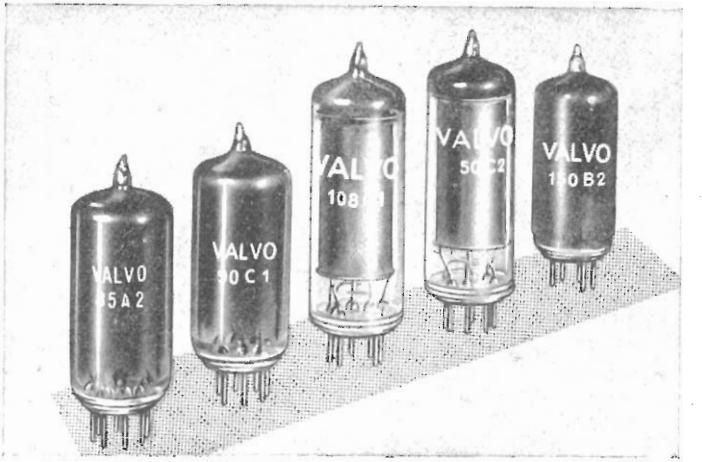

Fig. 56 - Tubi stabilizzatori VALVO.

fruire anche di tensioni stabilizzate nei punti di connessione fra i differenti tubi. Le resistenze da 1 Mohm in parallelo a due dei tre tubi stabilizzatori hanno unicamente lo scopo di facilitare l'innesco di tutti e tre i tubi.

Quando invece si voglia stabilizzare una corrente piuttosto rilevante non è possibile collegare in parallelo normali tubi stabilizzatori senza correre in rischio che uno solo di essi si inneschi e possa regolarmente lavorare. È ancora possibile impiegare dei tubi con elettrodo di controllo, come è indicato in fig. 60.

La fig. 61 riporta lo schema di un alimentatore impiegante due tubi stabilizzatori GR 150/DA. La tensione massima di uscita è 300 V, una presa è prevista per l'alimentazione a 150 V. I tubi stabilizzatori sono provvisti di elettrodo di controllo che va connesso al positivo attraverso una resistenza molto elevata. La corrente stabilizzata massima è di

50 mA, ed equivale a quella di un solo tubo, in quanto i due tubi sono connessi in serie.

La resistenza R è del tipo semifisso ed il suo valore va

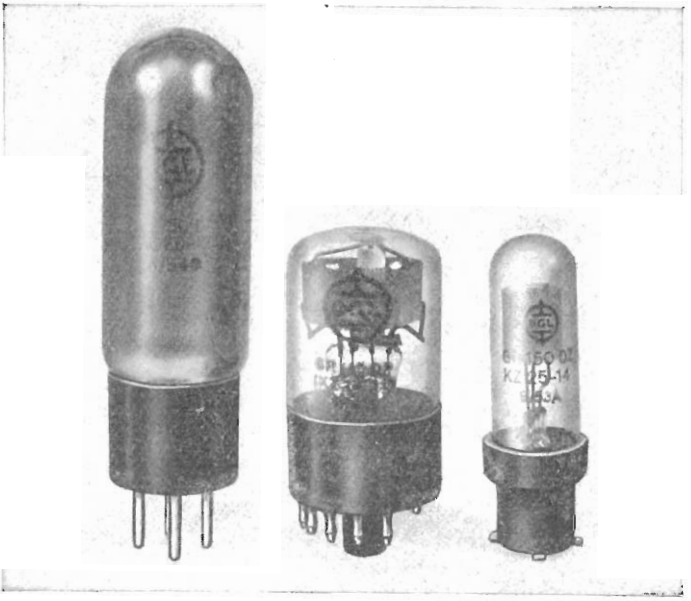

Fig. 57 - Tubi stabilizzatori DGL.

regolato in modo che la somma della resistenza inserita di R e della resistenza ohmmica della bobina di filtro equivalgano alla resistenza R_v calcolata con i metodi sopra descritti.

Al morsetto $U1$ è disponibile una tensione più elevata, non stabilizzata. La tensione d'arco di un tubo stabilizzatore è influenzata sia dalla temperatura che dalla pre-

senza di campi elettrici o magnetici. È quindi necessario prevedere la sistemazione dei tubi a gas lontano da sorgenti di calore, quali possono essere le valvole raddrizzatrici, e da intensi campi esterni.

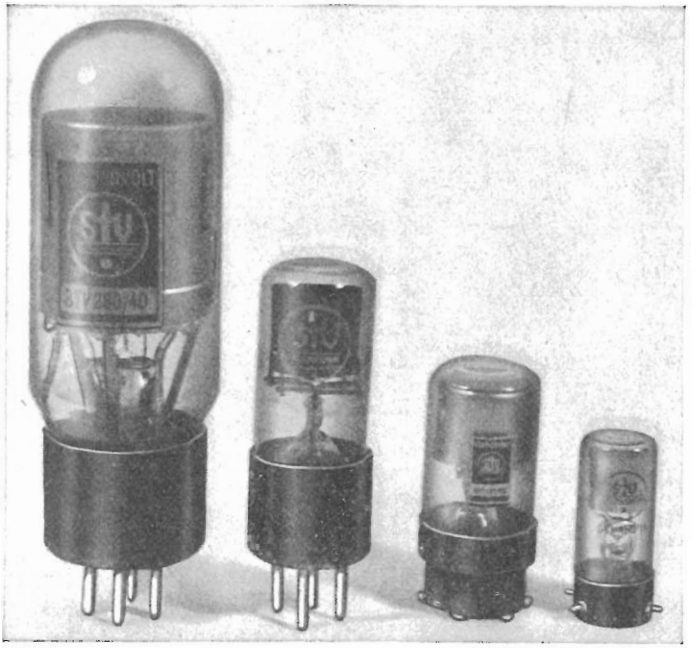

Fig. 58 - Tubi stabilizzatori STABILOVOLT.

La fig. 62 riporta lo schema di un alimentatore stabilizzato che fa uso di un tubo a gas divisore di tensione STV 280/40. Questo tubo permette l'utilizzazione di quattro tensioni parziali stabilizzate a 70 V. Queste tensioni sono

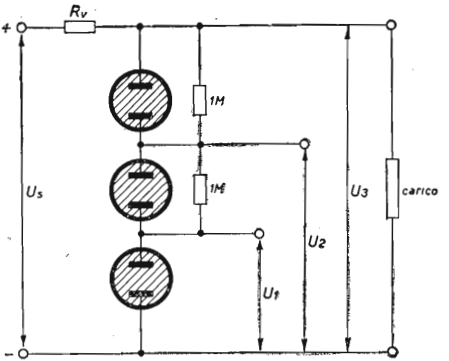

Fig. 59 - Connessione in serie di tubi stabilizzatori.

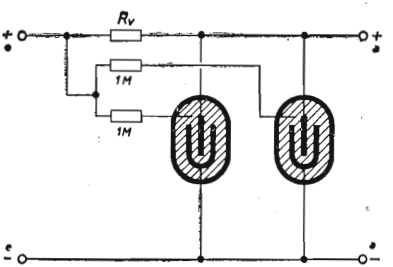

Fig. 60 - Connessione in parallelo di tubi stabilizzatori con elettrodo di controllo.

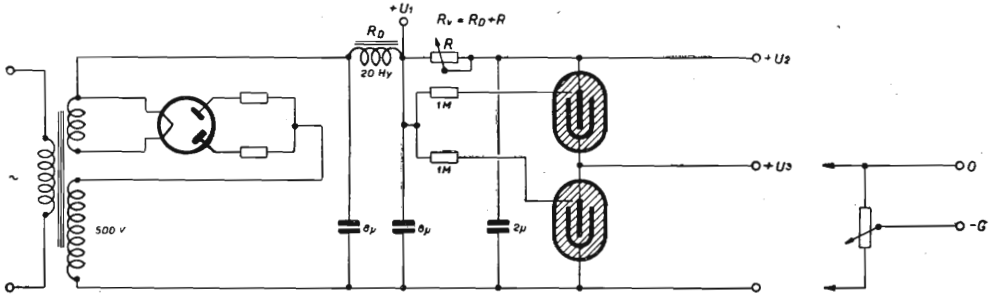

Fig. 61 - Alimentazione stabilizzata.

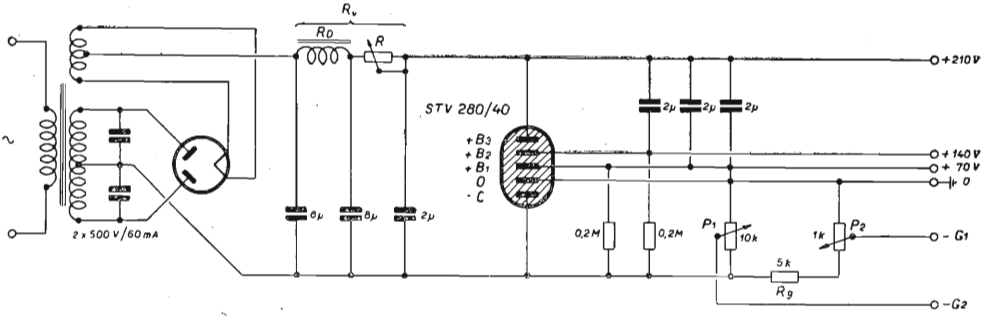

Fig. 62 - Alimentatore con divisore di tensione STV 280/40.

prelevate su elettrodi intermediari posti nel tubo stabilizzatore nello spazio compreso fra l'anodo principale ed il catodo. Per rapporto all'elettrodo comune queste tensioni parziali ammontano a 70, 140, 210 e 280 V.

L'elettrodo più esterno del tubo funziona da catodo; i diversi anodi hanno dimensioni via via più ridotte, quindi le differenti correnti utilizzabili diminuiscono al crescere della tensione.

La tabella seguente riporta i carichi ammissibili per il tubo STV 280/40 ed STV 280/80;

	— C	O	+ B_1	+ B_2	+ B_3
STV 280/40	80 mA	80 mA	60 mA	40 mA	15 mA
STV 280/80	100 mA	90 mA	80 mA	80 mA	60 mA

La corrente minima che deve fluire attraverso il tubo affinchè il funzionamento come stabilizzatore sia assicurato è di 10 mA.

Per poter disporre di una tensione negativa per la polarizzazione di griglia, si può mettere a terra il primo anodo stabilizzatore a partire dal catodo. In tal modo sui cursori dei potenziometri P_1 e P_2 sono disponibili tensioni negative di polarizzazione: all'uscita G_2 si può avere una tensione variabile fra 0 e 70 V, mentre all'uscita G_1 una tensione di:

$$-70 \frac{P_2}{P_2+R_g} = -11{,}66 \text{ V}$$

In questo caso la tensione stabilizzata più elevata diventa di 210 V. I singoli anodi parziali comprendono resistenze di valore elevato per facilitare l'innesco delle diffe-

renti sezioni del tubo; ed inoltre sono previsti condensatori di 2 μF per migliorare il filtraggio della tensione continua.

La calcolazione della resistenza in serie avviene sempre secondo le norme che già abbiamo visto; la tensione minima all'uscita del raddrizzatore deve ammontare ad almeno una volta e mezza la tensione stabilizzata massima:

$$U_a \doteq \frac{3}{8} \cdot 285 = 428 \text{ V}$$

Il secondario ad alta tensione del trasformatore sarà quindi previsto a 2 × 500 V e 70 mA.

Se si vuole usufruire della massima tensione stabilizzata, e non occorre invece prevedere una tensione negativa verso la massa, si può connettere il tubo stabilizzatore come è indicato in fig. 63.

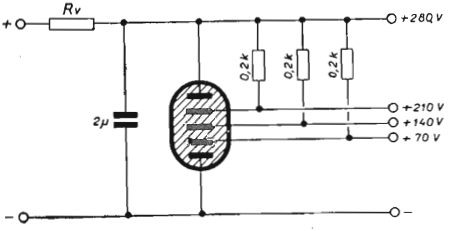

Fig. 63 - Utilizzazione del tubo STV 280/40 per la tensione massima di uscita + 280 V.

Se si desidera invece avere una tensione positiva di 140 V verso massa e una negativa pure di 140 V verso massa, si può seguire lo schema di fig. 64. La fig. 65 mostra come può essere impiegato il tubo stabilizzatore per due uscite soltanto a 70 e 140 V. Le sezioni non utilizzate del tubo sono semplicemente cortocircuitate.

Per erogazioni superiori a 30 mA, corrente massima per-

messa dal tubo STV 280/40, può essere impiegato il tipo di maggior potenza STV280/80: l'erogazione di corrente può raggiungere 70 mA. La fig. 66 riporta uno schema di utilizzazione di un tale tipo di tubo stabilizzatore. In questo schema si fa uso per la resistenza in serie di una resistenza a ferro - idrogeno. La ditta Stabilovolt fornisce resistenze di questo tipo adatte ad essere impiegate con i tubi stabilizzatori di propria produzione, e precisamente il tipo H 85-255/60 per lo stabilizzatore STV 280/40, e H 85 - 255/80 per lo stabilizzatore STV 280/80.

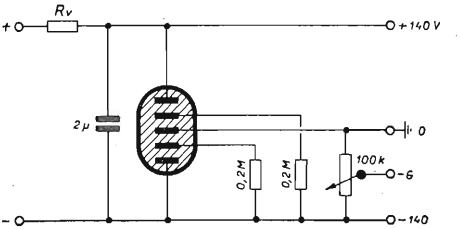

Fig. 64 - Prelievo di tensione negativa per circuiti di polarizzazione.

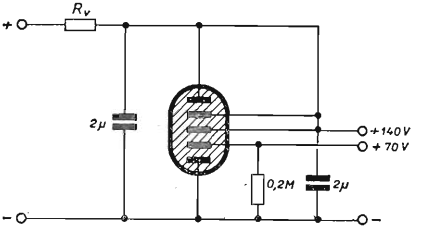

Fig. 65 - Utilizzazione del tubo STV 280/40 cno corto circuito su alcune sezioni.

Le stabilizzazioni ottenibili sulle diverse sezioni dei tubi divisori di tensione ammontano al $\pm$ (0,1 — 0,2%) per variazioni del $\pm$ 10% della tensione di alimentazione. Ancora migliore è la interdipendenza reciproca delle varie tensioni stabilizzate al variare del carico.

In generale tubi stabilizzatori verranno usati nella se-

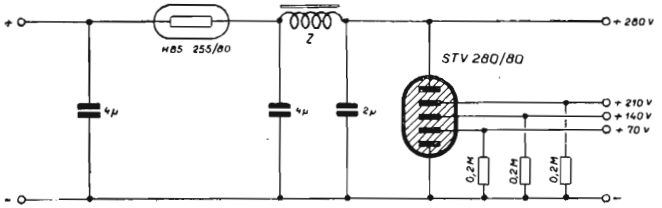

Fig. 66 - Il tubo STV 280/80 impiegato come divisore di tensione.

zione alimentatrice di un'apparecchiatura radio ovvero di misura; la tensione stabilizzata verrà però riservata a quegli stadi che particolarmente risentono delle variazioni della tensione anodica; per esempio l'oscillatore di un complesso trasmittente, l'oscillatore locale di una supereterodina e simili. Per tutti gli altri stadi si userà la tensione non stabilizzata fornita dall'alimentatore.

12 - Circuiti di protezione contro sovratensioni

È facile intuire che tubi a gas si prestano bene per evitare il formarsi di una sovratensione. Fino all'innesco infatti un tubo a gas si comporta praticamente come un isolatore. Ad innesco avvenuto invece la sua resistenza interna discende a valori molto bassi. Un esempio di applicazione è la protezione contro il fulmine: il tubo RPS 350 (fig. 67) si può collegare come è indicato in fig. 68 fra i morsetti di antenna e terra di un ricevitore.

La presenza del tubo impedisce che su l'antenna possano formarsi cariche statiche superiori al valore della tensione d'innesco del tubo stesso. La resistenza in serie, che protegge il tubo da sovra correnti, può essere di circa 1 kohm.

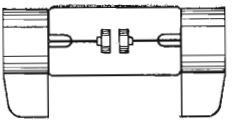

Fig. 67 - Tubo a gas per la protezione dal fulmine.

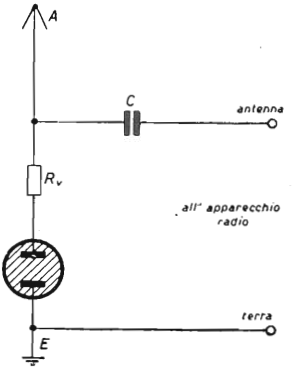

Fig. 68 - Collegamento di un tubo di protezione.

Un circuito simile è pure interessante nel caso di un complesso ricevente e trasmittente con antenne separate. Quando il trasmettitore è in funzione la tensione presente sulla antenna ricevente è sufficiente ad innescare il tubo, il quale protegge da qualsiasi danno il ricevitore a cui l'antenna è collegata. Utile risulta pure l'uso del tubo a gas per assorbire le sovratensioni di apertura in circuiti induttivi. Il tubo a gas può essere collegato in parallelo sul contatto di apertura (fig. 69). ovvero anche in parallelo sulla induttanza del circuito (fig. 70). Si può aumentare l'efficacia di questa protezione polarizzando il tubo a gas leggermente al di sotto della sua tensione di arco normale, in tal modo è sufficiente una piccola sovratensione per produrre l'innesco ed evitare la scintilla di apertura. Con lo schema di fig. 70 è facile che

già esista per caduta ohmmica attraverso l'induttanza una tensione sufficiente per polarizzare il tubo.

La resistenza in serie di protezione può avere un valore compreso fra 500 e 1000 ohm: essa è assolutamente neces-

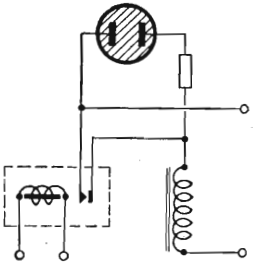

Fig. 69 - Protezione dei contatti di un relè con carico induttivo.

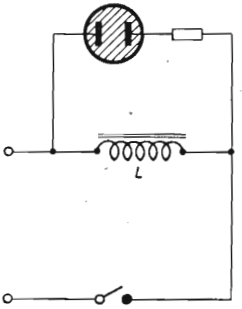

Fig. 70 - Tubo a scarica come limitatore della sovratensione di apertura.

saria quando la tensione d'esercizio del circuito supera i 60 V. La tabella in fondo al libro riporta alcuni dati di tubi per la protezione da sovratensioni.

13 - Riduttori di tensione

I tubi a gas, grazie alla costanza della tensione ai loro capi al variare entro un certo campo della corrente che li percorre, possono venire usati per abbassare una tensione continua ad un valore pari alla differenza fra la tensione continua di alimentazione e la tensione di arco del tubo. Questo sistema è interessante per la sua estrema semplicità.

Il rendimento non è naturalmente eccessivamente alto,

ma tenendo presente l'impossibilità di usare trasformatori con corrente continua, esso può in determinati casi presentare innegabili vantaggi. La fig. 71 indica come un utilizzatore a bassa tensione possa venire collegato direttamente alla rete di corrente continua attraverso un tubo a gas. L'utilizzatore può essere per esempio un campanello elettrico un piccolo motore elettrico per giocattoli un bagno elettrolitico, o altro. Se la distribuzione è effettuata con un filo a terra, è bene che l'utilizzatore sia collegato alla rete su questo filo.

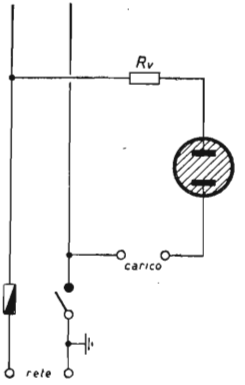

Fig. 71 - Impiego di un tubo a gas come riduttore di tensione.

A seconda della resistenza interna dell'utilizzatore, la resistenza R_V di protezione può eventualmente venire soppressa. Naturalmente il tubo va proporzionato alla corrente massima richiesta dall'utilizzatore: i tipi che meglio si prestano per questa applicazione sono gli stessi impiegati per la stabilizzazione della tensione continua. La corrente massima assorbita dall'utilizzatore non deve supe-

rare la corrente massima ammissibile nel tubo: temporanei sovraccarichi del 100% sono tuttavia ammissibili. È bene prevedere in ogni caso, per la protezione sia del tubo che dell'utilizzatore, un fusibile nel circuito del riduttore.

14 - Raddrizzatori a gas a catodo freddo

Tubi a gas con forte dissimmetria geometrica negli elettrodi presentano una notevole differenza fra i valori di tensione d'innesco, di arco e corrente circolante a seconda se vengono collegati con una certa polarità ovvero l'opposta.

Sfruttando questa proprietà sono stati quindi studiati dei tubi a gas specialmente adatti al raddrizzamento della corrente alternata. In questi tubi il catodo ha in generale una superficie alquanto estesa di forma cilindrica o emisferica, e sovente la sua superficie è anche attivata mediante deposito di sostanze che facilmente liberano elettroni sotto l'influenza di un campo elettrico. L'anodo invece è sempre di ridottissime dimensioni, per lo più filiforme, con una guaina di ceramica fino a pochi millimetri dalla sua estremità libera. La Telefunken costruiva fino a qualche tempo fa un tubo raddrizzatore a due anodi denominato RGN 1500.

Nell'impiego in piccole apparecchiature questi tubi non presentano generalmente vantaggi apprezzabili sui tubi a vuoto con filamento. Ma nel caso di tensioni elevate, ovvero per applicazioni industriali, può essere talvolta interessante l'applicazione di raddrizzatori a gas a catodo freddo per la loro estrema semplicità. Non essendoci il problema dell'accensione di un filamento vengono a cadere tutte le difficoltà di isolamento dei secondari destinati ai filamenti. In fig. 72 sono riportati gli schemi di principio di due tipi di raddrizzatori con tubi a gas. Come si vede non esiste una grande differenza dai circuiti normalmente impiegati con valvole a filamento.

La differenza fra le correnti circolanti nel tubo quando l'elettrodo a maggiore superficie funziona come catodo e quando esso funziona come anodo determina il rendimento del raddrizzatore. Il rapporto fra queste due correnti si approssima al rapporto fra le aree del catodo e dell'anodo, e facilmente si possono ottenere dei rapporti vicini a 100.

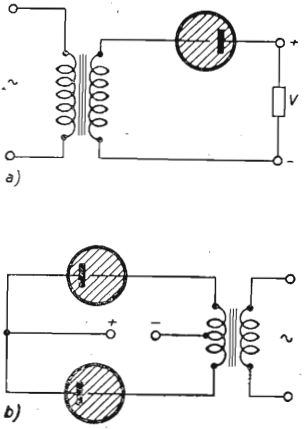

Fig. 72 - Principio di raddrizzatori con tubi a catodo freddo.

Tubi raddrizzatori a gas sono per esempio i tipi GG 220 e GG 280. Al primo di essi può essere applicata una tensione massima di 220 V; la corrente erogabile ammonta a 25 mA.

Il secondo tipo sopporta 500 V massimi è può fornire una corrente normale di 10 mA: per tempi inferiori ad un secondo sono però ammissibili correnti dell'ordine di 1 A.

La fig. 73 mostra la connessione di quattro tubi a gas per il raddrizzamento a ponte. Questo circuito viene particolarmente usato con i tubi per altissima tensione impiegati

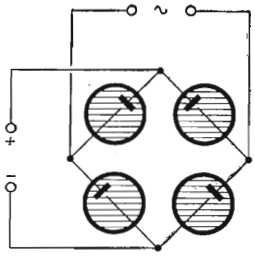

Fig. 73 - Raddrizzatore a ponte.

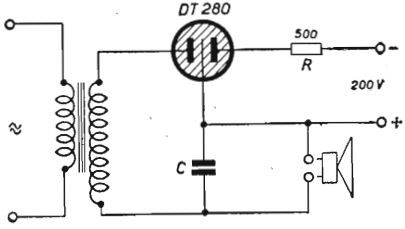

Fig. 74 - Circuito di un rivelatore a gas, per il raddrizzamento di piccoli segnali a bassa ed alta frequenza.

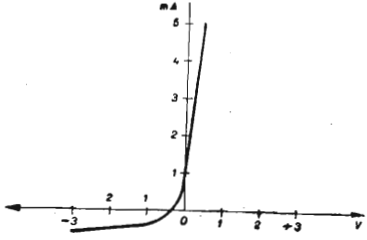

Fig. 75 - Caratteristica del rivelatore a gas.

nelle apparecchiature a raggi X. Questo ultimo tipo di tubo può venire anche impiegato in circuiti duplicatori o quadruplicatori di tensione. Si era anche costruito un tubo per il raddrizzamento con rendimento molto elevato di piccolissime tensioni e correnti a bassa ed alta frequenza. Si trattava di un tubo a tre elettrodi, denominato rivelatore a ionizzazione. Anche questo tubo non richiede alcuna accensione, e uno schema di utilizzazione è indicato in fig. 74. La sua caratteristica, quando è correttamente polarizzato, è riportata in fig. 75; come si vede la pendenza è dell'ordine di 20 mA/V; la corrente inversa è relativamente ridotta.

PARTE II

CELLULE FOTOELETTRICHE

Cellule fotoemissive, fotoresistenti e fotovoltaiche

Un trasduttore flusso luminoso - corrente può essere realizzato su diversi principi fisici.

Le fotoresistenze sono costituite da particolari elementi in cui la mobilità degli elettroni risulta in diretta dipendenza dall'illuminazione dell'elemento stesso. In pratica queste fotoresistenze vengono realizzate depositando la sostanza adatta su un supporto isolante munito di due elettrodi. Per la protezione dalla polvere e dall'invecchiamento questa piastrina può essere rinchiusa in una ampolla di vetro in cui si sia fatto il vuoto e quindi immessa una certa quantità di gas inerte. La cellula fotoresistente così realizzata viene normalmente impiegata come segue. Schermata dalla luce ambiente essa viene alimentata da una opportuna sorgente di tensione. Ogni cambiamento della luce incidente sulla cellula provoca una variazione della sua resistenza e quindi della corrente assorbita. Questa corrente può servire a comandare direttamente un relé, ovvero a produrre una variazione di tensione ai capi di una resistenza di carico. In generale non esiste comunque una linearità fra flusso luminoso incidente e corrente circolante nella fotocellula. Per questo fatto le cellule fotoresistenti vengono essenzial-

mente impiegate in apparecchiature industriali: ad esempio in dispositivi di conteggio, in protezioni a raggio luminoso, ed in generale in tutte quelle applicazioni in cui interessano due soli livelli di funzionamento.

L'inerzia di questi tipi è piuttosto elevata (maggiore per le fotoresistenze a valore ohmico elevato), ciò che preclude l'impiego a frequenze superiori a qualche Hertz

Cellule di questo tipo sono costruite dalla A.E.G., e impiegano solfuro di cadmio in due differenti stati di cristallizzazione. Le sensibilità relative sono riassunte nella tabella seguente:

	Resistenza di oscurità	Illuminazione 100 Lux	Illuminazione 10 000 Lux
B	> 500 MΩ	> 5 MΩ	> 100 kΩ
C	< 500 MΩ	< 5 MΩ	< 100 kΩ

Unaltra categoria di cellule fotoelettriche comprende le cellule denominate fotovoltaiche. Si tratta di cellule che si comportano come una batteria la cui tensione è proporzionale all'illuminazione incidente. Nell'uso di queste cellule non occorre quindi una sorgente esterna di tensione. La resistenza interna di queste cellule è però molto ridotta, e non permette quindi il collegamento di una cellula ad una valvola amplificatrice. Il loro impiego avviene essenzialmente con strumenti di misura a bassa resistenza interna, come ad esempio un galvanometro, per controllo di luminosità, di brillantezza, di colore e simili. La tensione della fotocellula

è sensibilmente proporzionale all'illuminazione, e la sua sensibilità spettrale molto vicina a quella dell'occhio umano. Quando la cellula sia chiusa su un circuito a bassissima impedenza la sua corrente è praticamente proporzionale all'illuminazione fino a 1000 lux. Ad alcune migliaia di lux si raggiunge la saturazione con una tensione ai capi della cellula dell'ordine di 0,5 V.

Le più usate fino ad ora nella tecnica radio sono tuttavia le cellule fotoemissive. La loro rappresentazione schematica è riportata in fig. 76. Esse comprendono generalmente un catodo (2) racchiuso in un'ampolla in cui è fatto il vuoto (1) e costituito da un elemento con spiccata tendenza alla fotoemissione. Un'anodo (3) è destinato a raccogliere gli elettroni emessi dal catodo in conseguenza all'effetto del flusso luminoso. L'emissione elettronica è, al di sotto della saturazione, proporzionale all'illuminazione del catodo.

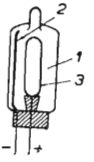

Fig. 76 - Costituzione di una fotocellula.

Con la scelta della sostanza di cui è costituito il catodo si può variare entro larghissimi limiti la sensibilità spettrale della fotocellula. Lo spettro visibile per l'occhio umano si estende fra 500 e 700 millimicron (ovvero fra 4×10^{14} e $7{,}5 \times 10^{14}$ Hz). Lunghezze d'onda inferiori sono denominate radiazioni ultraviolette; lunghezze d'onda superiori radiazioni infrarosse. La fig. 77 riporta la curva della sensibilità spettrale di due tipi di cellule fotoemissive. In generale mescolanze di sali di cadmio, potassio, sodio, cesio e anti-

monio hanno spiccata sensibilità nel campo ultravioletto. Il cesio puro presenta invece la massima sensibilità nel campo infrarosso. Quest'ultima sensibilità è più adatta per cellule destinate a lavorare in congiunzione con lampadine a filamento. Con mescolanze speciali si possono realizzare curve di sensibilità spettrale collocate a piacere nella gamma delle radiazioni luminose ed invisibili. Esistono cellule con sensibilità quasi uniforme fra 300 e 1200 millimicron.

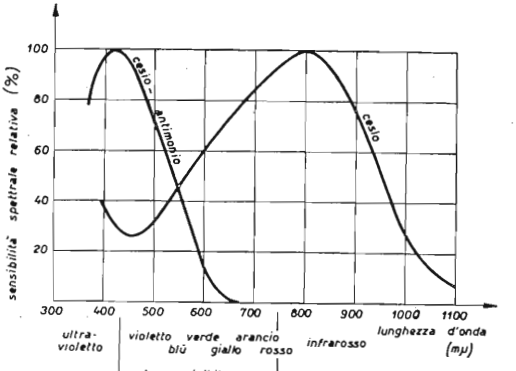

Fig. 77 - Lo spettro visibile.

Le cellule fotoemissive esistono in due versioni: a vuoto ed a riempimento gassoso. Le prime, in generale di costanza più elevata, presentano una sensibilità relativamente ridotta. Per una data illuminazione esiste inoltre una tensione di saturazione, che corrisponde alla tensione necessaria per creare un campo elettrico tale che tutti gli elettroni emessi dal catodo per effetto fotoelettrico vengono assorbiti dalla placca.

Per media illuminazione questa tensione è in generale compresa fra pochi volt e circa 50 V. Per aumentare la sensibilità di questa cellula si introduce una miscela gassosa nel bulbo della cellula stessa. Si fa in generale uso di gas rari, come per i tubi a scarica nel gas. Fra gli elettroni emessi dal catodo ed accelerati dall'anodo e le molecole di gas presenti nel bulbo avviene quindi un fenomeno di ionizzazione: altri elettroni liberati da questi urti contribuiscono alla corrente anodica, grazie alla loro elevata mobilità. Gli ioni positivi invece migrano verso il catodo con una mobilità molto inferiore. La sensibilità di queste fotocellule è quindi nettamente superiore a quella delle cellule a vuoto; mentre la costanza non è così grande, dipendendo in parte dalla temperatura e dall'invecchiamento. Con le fotocellule a gas

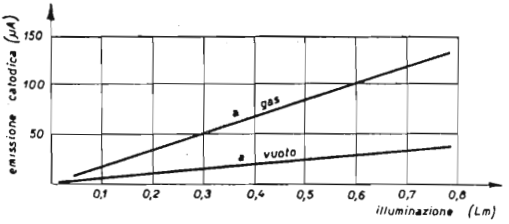

Fig. 78 - Caratteristiche di fotocellule al Cesio.

non si riscontra un fenomeno di saturazione; occorre però che la tensione anodica resti sempre ben al di sotto del valore della tensione di innesco. Una scarica del tipo luminescente infatti potrebbe danneggiare notevolmente il catodo fotoemissivo. Le tensioni d'innesco di fotocellule a gas sono in generale comprese fra 150 e 250 V.

La tensione di lavoro si fa in generale pari a circa la metà della tensione di innesco. La proporzionalità fra corrente e flusso luminoso non è più così buona nelle fotocellule a gas in rapporto alla proporzionalità delle fotocellule a vuoto.

La sensibilità di una cellula fotoemissiva è in generale espressa in mA/Lm. Indicando la sensibilità occorre però sempre specificare la temperatura di colore della sorgente luminosa, per quanto abbiamo visto sulla sensibilità spettrale dei diversi fotocatodi.

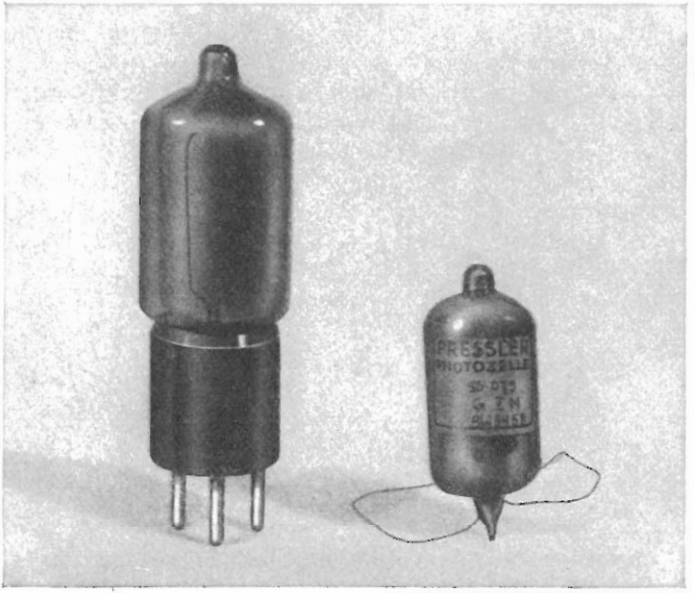

Fig. 79 - Fotocellule DGL.

Caratteristica delle cellule fotoemissive è una resistenza interna molto elevata. È quindi possibile il collegamento diretto con tubi amplificatori. La fig. 78 riporta la curva di sensibilità di una cellula a vuoto e di una cellula a gas.

Le fig. 79 ed 80 illustrano alcuni tipi correnti di cellule fotoemissive.

Tutte queste cellule a emissione posseggono una inerzia ridottissima (maggiore per quelle a gas) e possono venire impiegate nel campo delle frequenze acustiche ed ultra-acustiche.

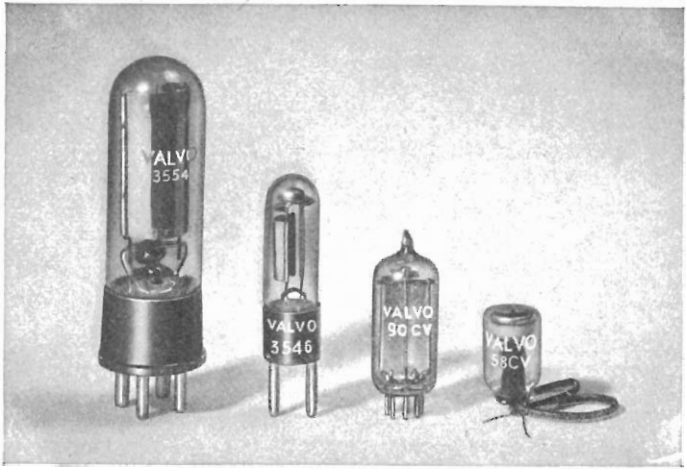

Fig. 80 - Fotocellule VALVO.

1 - Relè fotoelettrici

La fig. 81 riporta lo schema di un relé fotoelettrico a corrente di lavoro. Ciò significa che quando la luce incide sulla fotocellula il relé viene eccitato. La valvola è normalmente polarizzata vicino all'interdizione mediante il potenziometro *P*. L'insieme fotocellule e resistenza *R* costituisce un partitore di tensione inserito fra il positivo e la massa. Il punto intermedio di questo partitore è collegato alla griglia della

valvola. Una illuminazione della fotocellula fra diminuire la sua resistenza interna, e sposta quindi la tensione del

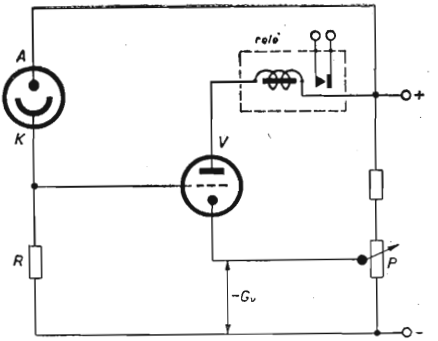

Fig. 81 - Relè a fotocellula: il relè si eccita illuminando la cellula.

punto intermedio verso valori più positivi. La valvola entra quindi in conduzione ed eccita il relé. Il valore della resi-

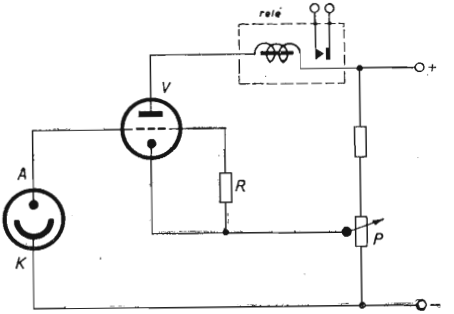

Fig. 82 - Relè a fotocellula: il relè si eccita oscurando la fotocellula.

stenza R, a secondo del tipo di cellula, è compreso fra 1 e 10 Mohm. Una situazione inversa è realizzata con lo sche-

ma di fig. 82. In questa condizione fino a che la fotocellula è illuminata il relé resta diseccitato. Quando la cellula viene oscurata il relé si eccita.

Il potenziometro P è regolato in modo che il tubo sia prossimo all'interdizione quando la cellula è illuminata.

Gli schemi riportati in fig. 81 ed 82 funzionano ugualmente bene con corrente continua ovvero alternata. In quest'ultimo caso per realizzare un funzionamento tranquillo del relé, esente da vibrazioni, occorre collegare in parallelo alla bobina di eccitazione un condensatore con capacità dell'ordine di 2 μF. Con l'alimentazione in corrente continua si possono tuttavia realizzare sensibilità più elevate che con l'alimentazione in corrente alternata. Si riserverà quindi l'alimentazione in corrente alternata in quei casi in cui non è richiesta una grande sensibilità ovvero quando si possa scegliere a piacere l'intensità luminosa della sorgente. Più avanti (in fig. 87) è illustrato lo schema di un circuito completamente alimentato in corrente alternata.

Le applicazioni di questi due tipi fondamentali di relé fotoelettrici, per corrente di lavoro e per corrente di riposo, sono molto numerose e vedremo qui di seguito di illustrarle brevemente.

A - Interruzione di raggio luminoso

Il funzionamento di un relé fotoelettrico con due sole posizioni limite permette già una grande varietà di applicazioni:

1 - contatori di pezzi a cellula fotoelettrica;
2 - registrazione del passaggio di persone;
3 - misura e limitazione di pesi, ingombri;
4 - sorveglianza di presenza di oggetti, di posizione ecc.

Fra le differenti possibilità pratiche possiamo qui indicare lo sbarramento luminoso davanti a parti in movimento di macchinario, per protezione delle mani; la sorveglianza notturna di locali (specialmente impiegando luce invisibile nel campo infrarosso); lettura della posizione dell'indice di uno strumento sulla scala, e così di seguito.

B - Relé fotoelettrici per il controllo dell'intensità luminosa

Altre applicazioni interessanti possono farsi impiegando un relè fotoelettrico che risponde ad un certo valore dell'intensità luminosa:

1 - inserzione o disinserzione automatica dell'illuminazione in funzione dell'illuminazione naturale;
2 - rivelatori di fumo per impianti di protezione contro gli incendi;
3 - misuratore di assorbimento, per il controllo di corpi liquidi o solidi relativamente alla loro trasparenza.

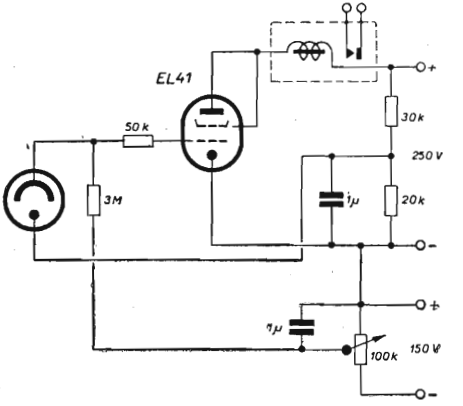

Fig. 83 - Il tubo EL 41 è all'interdizione a fotocellula oscurata.

C - Relé fotoelettrico per colori

Un relé fotoelettrico provvisto eventualmente di speciali filtri può venire impiegato per il controllo del colore; numerose sono le applicazioni in questo campo: sorveglianza della uniformità di colorazione di un certo prodotto, controllo di reazioni chimiche, controllo di temperature e simili.

La fig. 83 riporta lo schema di un relé fotoelettrico del tipo a corrente di lavoro. Si tratta di un relé particolarmente

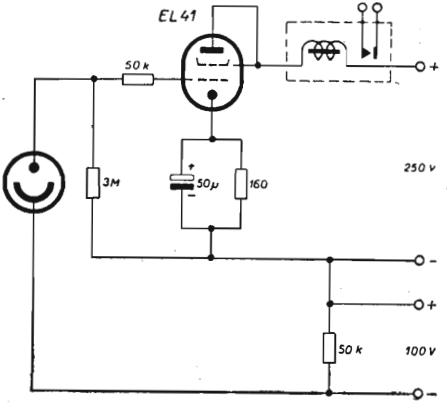

Fig. 84 - Il tubo EL 41 è all'interdizione a fotocellula illuminata.

sensibile e di funzionamento molto stabile. Il principio di funzionamento è analogo a quello descritto per il relé fotoelettrico di fig. 81. Si fa in generale uso di triodi ovvero di pentodi collegati a triodo a causa della bassa resistenza della bobina di eccitazione del relé.

La fig. 84 riporta lo schema di un relé fotoelettrico di realizzazione pratica in cui il relé si eccita per oscuramento della fotocellula.

Anzichè da un tubo elettronico il relé può anche venir eccitato con l'aiuto di un tubo a gas. Lo schema di fig. 85 illustra un relé fotoelettrico con tubo a gas in cui l'eccita-

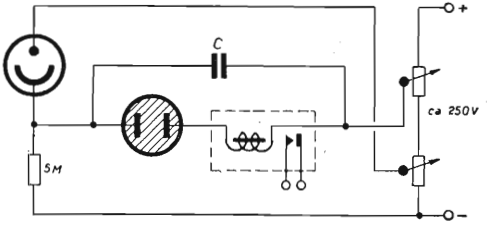

Fig. 85 - Fotocellula con comando del relè con tubo a gas.

zione del relé avviene per oscuramento della fotocellula. A fotocellula illuminata ai capi del tubo a gas non si raggiunge la tensione di innesco. Quando invece la fotocellula

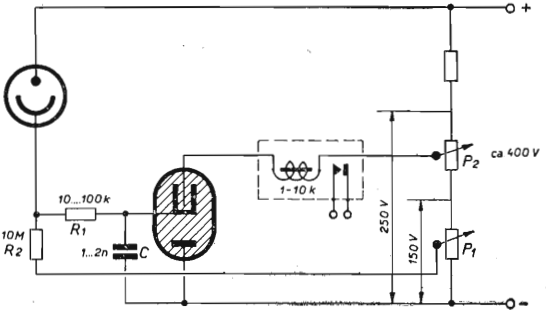

Fig. 86 - Fotorelè con tubo a elettrodo di controllo.

è oscurata la resistenza di 5 Mohm viene a lavorare come una resistenza in serie di protezione sul tubo a gas. La scarica può quindi avvenire, ed è facilitata dalla presenza del

condensatore C che fornisce il primo impulso di corrente necessario ad eccitare il relé.

Una sensibilità più elevata può essere raggiunta con l'uso dei tubi a gas con elettrodo di controllo. Un circuito di questo genere è illustrato in fig. 86. Il relé è eccitato per illuminazione della fotocellula. Il circuito inverso, in cui cioè il relé viene eccitato per oscuramento della fotocellula, si ottiene scambiando fra di loro la resistenza R_2 e la fotocellula. Il gruppo costituito dalla resistenza R_1 e dal condensatore C facilita l'innesco della scarica, come già abbiamo visto parlando dei tubi relé.

La fig. 87 illustra lo schema di un relé fotoelettrico alimentato completamente in corrente alternata. Il relé si eccita per illuminazione della fotocellula. Anche in questo

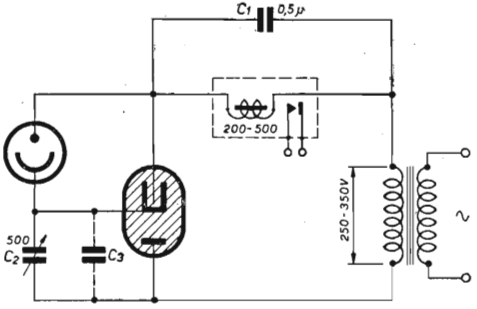

Fig. 87 - Fotorelè con alimentazione diretta da rete a corrente alternata.

circuito si può ottenere il funzionamento inverso scambiando fra di loro la fotocellula ed il condensatore C_2. Il divisore formato dalla fotocellula e dal condensatore lavora per sfasamento. La tensione applicata all'elettrodo di controllo assume una fase differente rispetto alla tensione applicata fra anodo e catodo del tubo a gas a seconda dei

valori relativi della resistenza interna della fotocellula e della capacità inserita. Anche qui si regolerà il condensatore variabile appena al di sotto del valore necessario a provocare l'innesco del tubo a gas con fotocellula oscurata. In parallelo alla bobina di eccitazione del relé è posto un condensatore fisso con capacità compresa fra 0,5 e 10 μF. Se a relé eccitato si ha vibrazione dell'ancora, ciò significa che il valore del condensatore è insufficiente. Valori troppo elevati di capacità portano ad un eccessivo ritardo nello sganciamento del relé all'atto del disinnesco del tubo a gas. Quando si vogliono controllare con la fotocellula correnti più importanti di quelle fornite da un tubo elettronico o da un tubo a scarica nel gas del tipo più sopra visto, si può fare ricorso ai tubi a gas con filamento (thyratrons). Con questi è facile disporre di correnti in uscita comprese fra 0,1 e 10 A.

2 - Preamplificatori per cine sonoro

Una particolare applicazione delle cellule fotoemissive sia a vuoto che a gas si ha nella lettura della banda sonora di un film. Gli impulsi luminosi ottenuti attraverso una colonna sonora contengono tutte le informazioni relative alla frequenza ed al livello del suono registrato. La fotocellula ritrasforma questi impulsi in impulsi elettrici.

Dato che l'ampiezza del segnale elettrico è molto ridotta, è indispensabile l'uso di un preamplificatose elettronico immediatamente all'uscita della fotocellula. Uno schema di preamplificatore per fotocellula è riportato nella fig. 88. La tensione di eccitazione per la fotocellula è ottenuta mediante il divisore costituito dalle resistenze di 0,3 e 0,2 Mohm in serie. La resistenza di carico della fotocellula è di 10 Mohm, ed ai capi di questa si raccoglie il segnale elettrico da amplificare. Attraverso il condensatore da 10.000 pF esso è

applicato alla griglia controllo del tubo EAF 42. L'amplificazione dello stadio ammonta a circa 180 volte. L'uscita di esso è quindi in grado di pilotare un normale amplificatore di bassa frequenza. Se si dispone di un amplificatore con sensibilità d'ingresso dell'ordine di 20 millivolt è possibile entrare direttamente con il segnale presente ai capi della resistenza di carico della fotocellula. La tensione di eccitazione può sempre venire derivata mediante un divisore dalla tensione anodica dell'amplificatore. Il consumo di corrente è infatti irrisorio. Occorre soltanto prestare attenzione che il filtraggio sia molto accurato, in quanto una componente

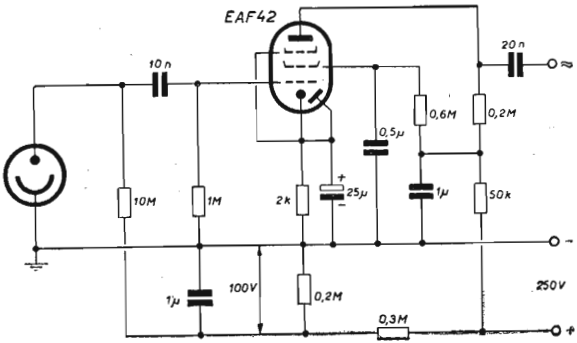

Fig. 88 - Preamplificatore cine per fotocellula.

alternativa presente nella tensione di eccitazione della fotocellula si trova applicata all'ingresso dell'amplificatore. La tensione di eccitazione di fotocellule per testine sonore è in generale compresa fra 60 e 150 V. La misura della tensione effettiva ai capi della fotocellula non può essere effettuata altrimenti che con voltmetri a valvola, a causa della elevasa resistenza del circuito.

Condizione importante del montaggio di una fotocellula è la schermatura accurata di tutti i collegamenti e la riduzione al minimo della lunghezza di questi. A causa infatti delle elevate resistenze sono sufficienti bassi valori della capacità parassita per attenuare fortemente il segnale e ridurre la risposta alle frequenze più elevate della gamma.

LAMPADE PER SEGNALAZIONE

Fabbricante	Tipo	Tensione (V)	Resist. limitat. (kΩ) 110 V	Resist. limitat. (kΩ) 220 V	Zoccolo	Dimens. (mm)	*Osservazioni*
	ER 110/S	110	150	700	BA 7S	7 × 30	ER 110 ed ER 220 sono sprov. di zoc.
	ER 220/S	220	—	300	BA 7 S		
	TEL 110/S	110	100	500	tipo silur.	7 × 44	Solo per resistenza limitatrice estern.
	TEL 220/S	220	—	200			
D.G.L.	MR 110/S	110	50	200	E 14 o	12,5 × 32	
	MR 220/S	220	—	100	BA 15 d		
Erlangen							
	FRB 110	110	25	100	E 14 o	16 × 54	Fornite con o senza resistenza limitatrice zoccolo
(German.)	FRB 220	220	—	50	BA 15 d	16 × 49	
	FRM 110	110	25	100	E 14 o	16 × 54	
	FRM 220	220	—	50	BA 15 d	16 × 49	
	GRM 110	110	4	20	E 27	28 × 84	
	GRM 220	220	—	15			
		110	2	9			
	normale	220	—	6	E 27	61 × 108	
		110	16	70			
OSRAM	mignon	220	—	33	E 14	16,5 × 55	
		110	60	250	E 10 o	8,8 × 28	
	micro	220	—	250	E 14	12,5 × 30	

LAMPADE PER ALTA TENSIONE

Fabbricante	Tipo	Tensione d'innesco (kV eff.)	Tensione d'alim. (kV eff.)	Impiego	Zoccolo	Dimensioni (mm)
D.G.L. Erlangen (German.)	HSR 160	4	5 - 20	BF	E 14	50 × 160
	HK 100	1	1 - 5	AF	Elettr. capac.	11 × 100
	HR 00	0,250	0,3 - 0,5	BF/AF		10 × 50

LAMPADE A LUNGHEZZA VARIABILE DELLA COLONNA LUMINESCENTE

Fabbricante	Tipo	Tensione d'innesco (kV eff.)	Corrente massima (mA)	Lunghezz. luminesc. (mm)	Zoccolo	Dimensioni (mm)
D.G.L. Erlangen (German.)	AR 220	180	10	60	Elettr. Esterni	15 × 110
	AEG 200	180	10	100	Morsetti	15 × 163
	RR 145	180	2	65	Swan	12 × 106
	LAMPADE OSCILLOGRAFICHE					
	IEG 200	200	10	2 × 110	Elettr. Esterni	31 × 300
	OR 175	180	10	120	Morsetti	18 × 165

TUBI PER OSCILLATORI A RILASSAMENTO

Fabbricante	Tipo	Tensione d'innesco (V)	Ampiezza di oscillaz. (V)	Frequenza massima	Zoccolo	Dimensioni (mm)
D.G.L. Erlangen (German.)	UR 110	100	10	Gamma acustica	Cappucci	10 × 50
	KR 100	100	15	gamma acustica	Cappucci	10 × 50
	KR 150	150	50	20 Hz	Europa	24 × 86
	KR 280	280	250	20 Hz	Europa	24 × 86
	KR 200	200	100	1000 Hz	E 14	16 × 54
	KR 400	400	300	50 Hz	E 14	16 × 54

TUBI RELÉ

Tipo	Tensione di lavoro (V)	Tensione d'innesco (V)	Corrente massima (mA)	Zoccolo	Dimensioni (mm)
GLK 200	200 - 300	150	10		17 × 90
GLK 300	250 - 350	180	10		17 × 90
GLG 200	200 - 300	150	20	Europa	28 × 80
GLG 300	250 - 350	180	20	Europa	28 × 80

TUBI DI PROTEZIONE PER SOVRATENSIONI

Fabbricante	Tipo	Tensione di scarica (V) ~	Tensione di scarica (V) =	Zoccolo	Dimensioni (mm)
D.G.L.	IR 68	4 - 60	4 - 80	Cappucci	10 × 50
	IR 1115	60 - 110	80 - 150	Cappucci	10 × 50
	IR 2222	110 - 220	150 - 220	Cappucci	10 × 50
Erlangen (Germania)	BS 40	100		Cappucci	8 × 40
	RPS 350	350		a coltello	32 × 60

TUBI RADDRIZZATORI

Fabbricante	Tipo	Tensione d'innesco (V)	Tensione d'alim. (V)	Corrente media (mA)	Zoccolo	Dimensioni (mm)
D.G.L.	GG 220	180	220	25	E 14	28 × 88
Erlangen (German.)	GG 280	280	500	10	Europa	40 × 120
	DT 280		200 - 250	max 10	Europa	33 × 100

TUBI DI REFERENZA E STABILIZZATORI

Fabbricante	Tipo	Tensione stabilizzata (V)	Tens. d'innesco (V)	Corrente media (mA)	Campo di regol. (mA)	Resist. differ. (Ω)	Zoccolo	Dimensioni (mm)
	85 A 2	85 (83- 87)	125	6	1- 10	280	Miniatura	19 × 54
	90 C 1	90 (86- 94)	125	20	1- 40	350	Miniatura	19 × 54
E.S.	100 E 1	100 (90-105)	140	125	50-200	7	Europa	55,5 × 168
	108 C 1	108(106-111)	135	17,5	5- 30	100	Miniatura	19 × 54
Amburgo	150 B 2	150(146-154)	180	10	5- 15	250	Miniatura	19 × 54
(Germania)	150 C 2	150(144-164)	185	17,5	5- 30	100	Miniatura	19 × 54
	GR 150/DA	150		35	10- 60	200	Europa	33 × 100
	GR 150/DM	150		30	10- 50	300	Eur. BA 15d	28 × 90
	GR 150/DZ	150		9	3- 15	500	DIN 41560	21 × 72
D.G.L.	GR 150/DK	150		9	2- 15	600	BA 15 d	16 × 74
	GR 140/F	140		0,6	0,1- 1	6000	E 14	16 × 54
Erlangen	GR 100/DA	100		35	10- 60	150	Europa EA	33 × 100
(Germania)	GR 100/DM	100		32,5	5- 60	150	BA 15 d	28 × 90
	GR 100/DZ	100		9	3- 15	200	Europa	21 × 72
	GR 100/Z	100		9	3- 15	200	DIN 41560	21 × 72
	GR 80/F	80		3	0,1- 6	2000	E 14	16 × 54
	GR 145/DR	150		35	10- 60	100	E	36 × 62

STABILIZZATORI/DIVISORI DI TENSIONE

Fabbricante	Tipo	Sezioni (V)	Tensione massima stabilizzata (V)	Tensione d'innesco	Campo di regolazione (mA)	Resistenza differenziale (Ω)	Zoccolo	Dimensioni (mm)
Stabilovolt	STV 100/60 ZII	100	100(99-104)	110	5-60	50	Europa	28 × 70
	STV 70/6	70	68 ± 5%	100	2,5- 6	1000	Swan	16 × 50
	STV 75/15	75	78 ± 5%	100	3-20	500	Swan	28 × 75
	STV 150/15	150	150 ± 10V	200	1-15	1000	Speciale	20 × 50
	STV 150/20	2 × 70-82	150 ± 5%	200	5-20	500	A	28 × 65
Berlino (Germania)	STV 75/15 Z	75	78 ± 5%	100	3-20	400	Speciale	28 × 60
	STV 100/25 Z	100	105 ± 5%	150	5-25	500	Speciale	28 × 62
	STV 100/60 Z	100	104 ± 6%	115	10-60	120	Europa	46 × 110
	STV 280/40	4 × 70	285 ± 5%	335	10-40	340	Europa	46 × 130
	STV 280/40 Z	4 × 70	285 ± 5%	335	10-40	340	6 piedini	50 × 130
	STV 280/80	4 × 70	285 ± 5%	335	10-80	240	Europa	62 × 135
	STV 280/80 Z	4 × 70	285 ± 5%	335	10-80	240	6 piedini	65 × 135

Z = con elettrodo speciale d'innesco

CELLULE FOTOELETTRICHE

Fabbricante	Tipo	Sensibilità spettrale massima	Rivestimento catodico	Riempimento	Dimensioni (mm)	*Impiego*
DGL - Erlangen (Germania)	320	Verde ultraviolet. ultraviolet. violetto infrarosso infrarosso giallo blu	CsG Cadmio Sodio Potassio Speciale I Speciale II Cesio Potassio	Vuoto o gas Vuoto o gas Vuoto o gas Vuoto o gas Vuoto o gas Gas Vuoto o gas Vuoto o gas	42 × 103	per misura e applicazioni scientifiche
	016	violetto infrarosso	Potassio Speciale I	Vuoto Vuoto	42 × 115	Ad alto isolam.
	022	violetto infrarosso infrarosso	Potassio Speciale I Speciale II	Gas Vuoto o gas Gas	15 × 58	per teste di lettura a riflessione
	009	violetto	Potassio	Vuoto	35 × 170	cellula a vuotodi costanza elevata
	240	violetto infrarosso infrarosso infrarosso	Potassio Speciale I Speciale II Speciale T	Vuoto o gas Vuoto o gas Gas Vuoto o gas	30 × 46	cellula frontale
	322	violetto infrarosso infrarosso infrarosso	Potassio Speciale I Speciale II Speciale T	Vuoto o gas Vuoto o gas Gas Vuoto o gas	19 × 26	cellula frontale miniatura

Segue : CELLULE FOTOELETTRICHE

Fabbricante	Tipo	Sensibilita spettrale massima	Rivestimento catodico	Riempimento	Dimensioni (mm)	*Impiego*
DGL Erlangen (Germania)	002	violetto infrarosso infrarosso infrarosso	Potassio Speciale I Speciale II Speciale T	Vuoto o gas Vuoto o gas Gas Vuoto o àas	32 × 105	di uso generale ad alta sensiblità
	043	violetto infrarosso infrarosso infrarosso	Potassio Speciale I Speciale II Speciale T	Vuoto o gas Vuoto o gas Gas	32 × 87	ad alta sensibilità per misura
	350	violetto infrarosso infrarosso infrarosso	Potassio Speciale I Speciale II Speciale T	Vuoto o gas Vuoto o gas Gas Vuoto o gas	18 × 44	universale di dimensioni ridotte
	079	violetto infrarosso infrarosso infrarosso	Potassio Speciale I Speciale II Speciale T	Vuoto o gas Vuoto o gas Gas Vuoto o gas	23 × 56	Cellula universale

Nota: Le cellule a gas contengono ARGON. La loro sensibilità è 10 ÷ 20 volte più elevata di quella delle cellule a vuoto. La tensione di innesco è compresa fra 150 e 250 V.

— I rivestimenti sensibili all'infrarosso sono di tre tipi:
— Speciale I con sensibilità di 500 μA/lumen
— Speciale II con sensibilità di 250 μA/lumen
— Speciale T con sensibilità inferiore a 250 μA/lumen.
— I rivestimenti sensibili al verde ed al blu presentano sensibilità comprese fra 40 e 80 μA/lumen nelle cellule a vuoto, e fra 100 e 200 μA/lumen in quelle a gas.

CELLULE FOTOELETTRICHE

Fabbricante	Tipo	Riempimento	Sensibilità spettrale max	Tensione di lavoro (V)	Sensibilità μA/lumen	Zoccolo	Dimensioni (mm)
	58 CG	Gas	rosso	85	85	senza zocc.	16 × 33
E.S.	58 CV	Vuoto	Rosso	50	20	senza zocc.	16 × 33
	90 AG	Gas	Blu	85	130	Miniatura	19 × 48
Amburgo	90 AV	Vuoto	Blu	85	45	Miniatura	19 × 48
	90 CG	Gas	Rosso	85	125	Miniatura	19 × 48
	90 CV	Vuoto	Rosso	50	20	Miniatura	19 × 48
	3545	Vuoto	Rosso	90	25	Speciale	16,5 × 55
	3546	Gas	Rosso	90	150	Speciale	16,5 × 55

L. 550